



Examensarbete *Bachelor thesis*

# Energieffektivisering av Havets Hus

- Kartläggning av faktorer som påverkar energiförbrukningen  
i havsvattensakvariet i Lysekil

## *Energy Optimization of "Havets Hus"*

- *Mapping of factors that affect energy consumption at the seawater  
aquarium located in Lysekil*

Lukas Lundström



Examensarbete *Bachelor thesis*

## Energieffektivisering av Havets Hus

- Kartläggning av faktorer som påverkar energiförbrukningen  
i havsvattensakvariet i Lysekil

### *Energy Optimization of “Havets Hus”*

- *Mapping of factors that affect energy consumption at the seawater  
aquarium located in Lysekil*

Lukas Lundström

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Lukas Lundström

Energieffektivisering av Havets Hus  
- Kartläggning av faktorer som påverkar energiförbrukningen  
i havsvattensakvariet i Lysekil

Energy Optimization of "Havets Hus"  
- Mapping of factors that affect energy consumption at the seawater  
aquarium located in Lysekil

Handledare: Sven Smårs, institutionen för energi och teknik, SLU  
Btr handledare: Sven Bernesson, institutionen för energi och teknik, SLU  
Examinator: Per-Anders Hansson, institutionen för energi och teknik, SLU  
EX0667, Självständigt arbete i teknologi - kandidatarbete, 15,0 hp, G2E

Examensarbete (Institutionen energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2011:04

Uppsala 2011

Nyckelord: energi, fukt, avfuktning, luftfuktighet, kondens, akvarium, akvariehall,  
saltvatten, simulering

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

## Sammanfattning

I detta examensarbete undersöks potentiella åtgärder för att energieffektivisera havsvattensakvariet Havets Hus, beläget på Sveriges västkust. Driftsförhållandena på Havets Hus har kartlagts och beräkningar och datasimuleringar utförts för att fastställa åtgärdsförslag med syfte att effektivisera energiförbrukningen i anläggningen.

Klimatdata och energiförbrukningsstatistik har samlats in och redovisas. Mätningar och beräkningar på anläggningen har utförts för att fastställa driftsförhållandena. Utgående från driftsförhållandena har datasimuleringsmodeller skapats med vars hjälp beräkningar görs för att åskådliggöra effekterna av föreslagna åtgärder.

Driftsförhållandena för ett publikt havsvattensakvarium med stor variation på både besökarantal och temperatur på ingående havsvatten är unika. De är inte direkt jämförbara med driftsförhållandena i andra anläggningar i Sverige utan påminner mera om den avfuktningssproblematik som uppstår i länder med tropiskt klimat.

Resultatet är att den största potentialen att spara energi finns i att byta ut systemet där intagsluften regleras med återluft till ett system med ett variabelt luftflöde. Detta då luftflödesbehovet är under 30% av maximikapacitet ca 95% av tiden. Ett s.k. ”wraparound”-system för avfuktning av intagsluften, där energi återvinns med värmeväxling mellan luft före och efter den mekaniska nedkylningen, visar sig enligt datasimuleringarna vara ca en fjärdedel energisnålare metod än endast mekanisk avfuktning.



## Abstract

This degree project evaluates potential measures to make the seawater aquarium Havets Hus, located on Sweden's westcoast, more energy-efficient. The operating conditions at Havets Hus are studied and calculations and computer simulations are conducted to determine proposals designated to streamline the energy consumption at the facility.

Climate data and energy statistics are collected and presented. Measurements and calculations on the facility has been conducted to determine the operating conditions. Based on operating conditions, the computer simulation models are created and estimates are made to study the effects of proposed actions.

The operating conditions for a public seawater aquarium with a large variation of both visitors and on the temperature of the fresh seawater are unique. They are not directly comparable to conditions at other facilities in Sweden, but more reminiscent of the dehumidification problems that arise in countries with tropical climates.

The outcome is that the greatest potential to save energy in to replace the system where the inlet air is controlled by return air to a system with a variable airflow. This is because of the fact that the airflow is at 30% of maximum capacity in about 95% of the time. A so called wraparound dehumidification, where energy is recovered by heatexchangers between the air before and after the mechanical cooling, is found according to the computer simulations to be about a quarter more energy-efficient method than a merely mechanical dehumidification.





# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning</b>	<b>10</b>
<b>Figurförteckning</b>	<b>10</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>11</b>
1.1 Bakgrund.....	11
1.2 Syfte.....	12
1.3 Metod.....	12
<b>2 Systembeskrivning Havets Hus</b>	<b>13</b>
2.1 Energiförbrukning.....	13
2.2 Ventilationssystemen .....	15
2.2.1 Kontor och övriga utrymmen.....	15
2.2.2 Akvariehallen.....	15
2.2.3 Exposeum.....	16
2.3 Havsvattensinstallationerna.....	16
<b>3 Driftsförhållanden</b>	<b>19</b>
3.1 Vattentemperatur.....	19
3.2 Ytemperaturer på akvarierna.....	20
3.3 Fuktavdunstning från akvarierna.....	22
3.4 Fukt från besökare.....	26
3.5 Fukt i tilluften.....	26
3.6 Ventilationsbehov.....	27
<b>4 Åtgärder</b>	<b>29</b>
4.1 Ventilationsaggregat till Akvariehallen.....	29
4.1.1 Alternativ 0: grundalternativ.....	29
4.1.2 Alternativ 1: variabelt luftflöde .....	30
4.1.3 Alternativ 2: "wraparound".....	32
4.2 Byte av akvarieglas .....	34
4.3 Börvärde för daggpunkt.....	34
4.4 LA2-kontor.....	35
<b>5 Simuleringsmodeller</b>	<b>36</b>
5.1 Simuleringsdata.....	36
5.2 Modell 1: variabelt luftflöde.....	38
5.3 Modell 2: "wraparound".....	41
<b>6 Resultat</b>	<b>43</b>
<b>7 Diskussion</b>	<b>45</b>
<b>8 Slutsats</b>	<b>46</b>
<b>Litteraturlista</b>	<b>47</b>

## Tabellförteckning

Tabell 1. Elnätsavgifter från och med 2011, inklusive moms.....	15
Tabell 2. Historiskt rörligt pris elektricitet, inklusive moms [öre/kWh].....	15
Tabell 3. Akvarieglasets beräknade R-värde och värmeförlust.....	21
Tabell 4. Det totala U-värdet för akvarieglasets.....	22
Tabell 5. Avdunstning från akvarium: luftens daggpunkt är 12°C och vattentemperaturen är 15°C.....	25
Tabell 6. Avdunstning från akvarium: luftens daggpunkt är 10°C och vattentemperaturen är 11°C.....	25
Tabell 7. Resultat från simulering alternativ 0.....	30
Tabell 8. Resultat från simulering alternativ 1.....	32
Tabell 9. Resultat från simulering alternativ 2.....	33
Tabell 10. Energibesparing genom att byta glas i akvarium 1.....	34
Tabell 11. Minskad elkonsumtion med "LA2-kontors" fläktmotorer avstängda.....	35
Tabell 12. Klimatdata som sparas i matrisen "klimat" i Matlabs "Workspace".....	36
Tabell 13. Fukthalstringen från akvarierna och frånluftens absoluta fukthalt.....	37
Tabell 14. Luftflöde och tariffdata som sparas i matrisen "vent" i "Workspace".....	38
Tabell 15. Tre alternativa ventilationsaggregat till Akvariehallen.....	44

## Figurförteckning

Figur 1. Energiförbrukningen 2008-2009.....	13
Figur 2. Elförbrukningen under låg- och högsäsong.....	14
Figur 3. Luftaggregat LA1-Akvariehall.....	15
Figur 4. Luftbehandling Exposeum.....	16
Figur 5. De två akvariehallarna (efter relationshandlingar), retuscherad. ....	17
Figur 6. Schematisk bild av havsvattensinstallationerna.....	17
Figur 7. Temperaturkorrelation: Släggö och Havets Hus.....	19
Figur 8. Vattentemperaturen på 30 meters djup vid Släggö mätstation.....	20
Figur 9. Akvarieväggens yttemperatur och värmeförlust.....	21
Figur 10. Avdunstning från akvarierna.....	23
Figur 11. Fukt från besökare baserat på besöksstatistik för 2010.....	26
Figur 12. Luftens temperatur och daggpunkt samt temperatur på havsvattnet. ....	27
Figur 13. Antal besökare samtidigt i Havets Hus år 2010.....	27
Figur 14. Ventilationsaggregat alternativ 1.....	30
Figur 15. Mollierdiagram för dimensionering alternativ 1.....	31
Figur 16. Ventilationsaggregat alternativ 2.....	32
Figur 17. Mollierdiagram för dimensionering alternativ 2.....	33
Figur 18. Modell 1, "rot vy": visar hur modellen är uppbyggd i Simulink.....	38
Figur 19. Block "kontroll luftmängd": Väljer det större värdet från matrisen "vent". ....	38
Figur 20. Block "V VX": Värmeväxling mellan intags- (T1-T2) och frånluften (T3-T4) simuleras. ....	39
Figur 21. Block "V VX och mekanisk avfuktning": Kylmaskinens och V VX:ns effekter simuleras.....	40
Figur 22. Block "eftervärmare": eftervärmarens energibehov simuleras.....	40
Figur 23. Block "redovisa": redovisar den årliga energiförbrukningen och energikostnaderna.....	41
Figur 24. Block "fläktar effekt": simulerar fläktarnas elförbrukning för ett visst luftflöde. ....	41
Figur 25. Modell 2: "rot vy": konstruerad likadant som modell 1 förutom blocket "wraparound avfuktning".	42
Figur 26. Block "wraparound avfuktning".....	42
Figur 27. Driftsförhållanden: havsvatten- och lufttemperatur samt daggpunkt och daggpunkts börvärde..	43

# 1 Inledning

För att minska utsläppen, av bl.a. koldioxid, är ett effektivt utnyttjande av energi något som bör främjas. Hur väl en fastighets energisystem är planerat och utformat har en stor betydelse för dess energiförbrukning. I äldre fastigheter kan modernisering av installationssystemen leda till minskad energiförbrukning på tiotals procent.

I detta examensarbete har driftsförhållandena och energiförbrukningen granskats i det publika akvariet Havets Hus som är beläget på västkusten i staden Lysekil. Havets Hus är stadens mest besökta turistattraktion med ca 85 000 besökare per år<sup>1</sup>. Akvariets uppgift är att visa upp de miljöer och djur som finns i Västerhavet, från strandområden till havets djupare delar. Över 100 arter visas upp i 40 akvarier, varav det största rymmer 140 000 liter (Havets Hus, 2010a). Akvarierna försörjs med färskt havsvatten som tas på 32 meters djup från Gullmarsfjorden, vars mynning är belägen just utanför Havets Hus. På detta djup varierar vattentemperaturen mellan 4°C till 17°C beroende av årstiden (SMHI/SHARK, 2010). Ett havsvattensakvarium som Havets Hus ställer unika krav på installationssystemen. Dessa bör tillfredsställa de krav som djuren ställer på akvarievattnet som bör hålla en viss temperatur, salt- och syrehalt och renhet samt de krav som människorna som vistas i de publika akvariehallarna ställer på rätt temperatur, luftfuktighet och luftfriskhet för att uppleva klimatet som komfortabelt.

För att kunna fastställa möjligheterna till energieffektivisering i fastigheten har driftsförhållandena som anläggningen opererar under utretts och klarlagts i detta examensarbete. Utgående från dessa driftsförhållanden har därefter åtgärder för energibesparingar och bättre fungerande installationssystem föreslagits.

## 1.1 Bakgrund

Den första publika akvariumdelen, den så kallade Akvariehallen, byggdes 1993 i källarvåningen och som tillbyggnad till en gammal hotellbyggnad från 1894. 1999 färdigställdes Exposeum, ytterligare en ny tillbyggnad. Totalt är de publika akvariehallarna 845 m<sup>2</sup> stort, inkluderat tekniska utrymmen. (Energideklaration, 2009; Relationshandlingar, 2000).

---

<sup>1</sup> Maria Jämting, VD på Havets Hus. Möte den 25 oktober 2010.

År 2009 utfördes en energideklARATION av fastigheten Havets Hus och i den konstateras att energiförbrukningen är hög. Under våren 2010 påbörjade två examensarbetare (Hung & Luketa, 2010) från Chalmers en energikartläggning av Havets Hus. De har genom mätningar, klimatdata, besöksstatistik och teoretiska beräkningar fastställt hur mycket energi som bör förbrukas av avfuktningen i fastigheten. Det här examensarbetet fortsätter energikartläggningen av Havets Hus där det förra examensarbetet slutade. Organisationen Miljöbron har fungerat som en länk och förmedlare mellan uppdragsgivaren Havets Hus och examensarbetarna.

Under sommarsäsongen, när uteluften har hög fukthalt, och många turister besöker Havets Hus och därmed det interna fuktillskottet är högt har man stora problem med kondens som bildas mot det kalla akvarieglaset. Temperaturen på akvarieglaset varierar efter årstiden beroende på temperaturen på det färska havsvattnet och efter akvarieglasets isoleringsförmåga. Denna ytemperatur bestämmer den maximala daggpunkten som luften i akvariehallarna bör hållas vid för att undvika kondens. Det är i de äldre delarna av akvariet, i Akvariehallen, som avfuktningen av ventilationsluften inte fungerar på ett tillfredsställande sätt.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att fortsätta energikartläggningen samt optimera driften av Havets Hus, då denna anläggning konstaterats sluka stora mängder energi. För att kunna fastställa möjligheterna till energieffektiviseringar i fastigheten görs en systembeskrivning samt en kartläggning av de driftsförhållanden som anläggningen opererar under. Utgående från dessa föreslås sedan åtgärder för energibesparingar och bättre fungerande installationssystem.

## 1.3 Metod

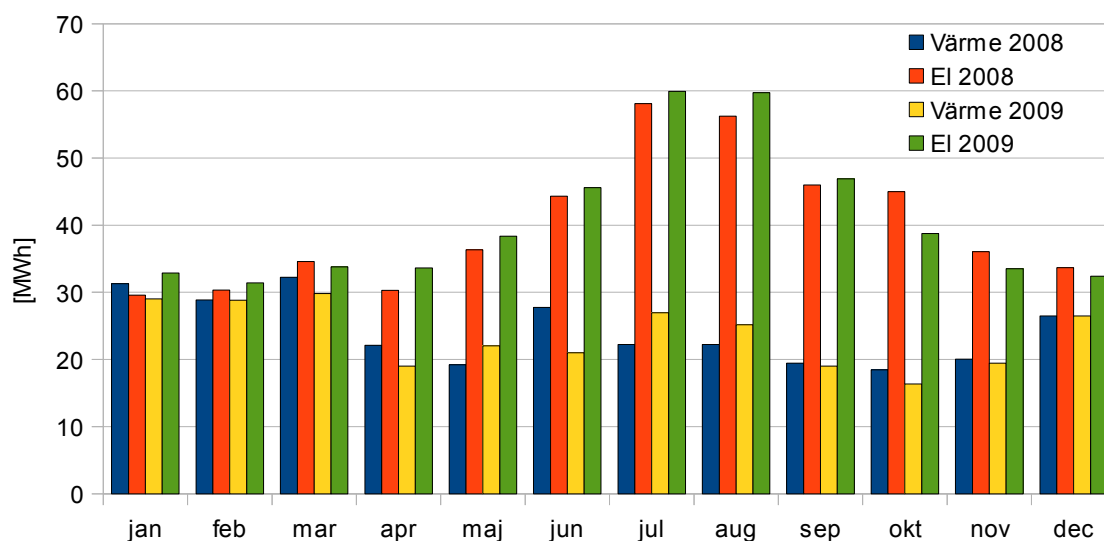
De metoder som används är intervjuer, litteraturstudier, mätningar och datasimuleringar. Intervjuer och möten med personal på Havets Hus utförs för problembeskrivning och insamling av fakta. Det tidigare gjorda examensarbetet (Hung & Luketa, 2010) studeras för ytterligare information. Litteraturstudier inom ämnet installationsteknik (Abel och Elmroth, 2006; ASHRAE, 2008; Installationsteknik, 2008) med fokus på avfuktningssystem görs (Trechsel, 1994; Zhang, 2006; Johansson och Westerlund, 2001). Statistik över klimatdata och energiförbrukningen insamlas. Mätningar på plats görs för att bestämma ytemperaturer på akvarierna. Intern fuktbelastning beräknas. Utgående från mätresultat, beräkningar och statistik görs en beskrivning av anläggningens driftsförhållanden. Simuleringsmodeller i Matlab Simulink byggs och simuleringar och beräkningar görs för att ta fram ekonomiska, driftsäkra och energieffektiva åtgärdsförslag.

## 2 Systembeskrivning Havets Hus

Det hus som Havets Hus är beläget i är en gammal hotellbyggnad från 1894 med två våningar och bottenplan. Den första publika akvariumdelen, här kallad Akvariehallen, byggdes som tillbyggnad 1993. Delar av det gamla hotellet byggdes om och i samband med detta blev bl.a. en swimmingpool omvandlad till akvarium. 1999 färdigställdes tillbyggnaden Exposeum. Den publika delen med Exposeum och Akvariehallen, inkluderat tekniska utrymmen, är ca 845 m<sup>2</sup> stort. Övriga utrymmen tar ca 890 m<sup>2</sup> i anspråk och består av kontor, förvaltning, butik och restaurang. (Energideklaration, 2009; Relationshandlingar, 2000).

### 2.1 Energiförbrukning

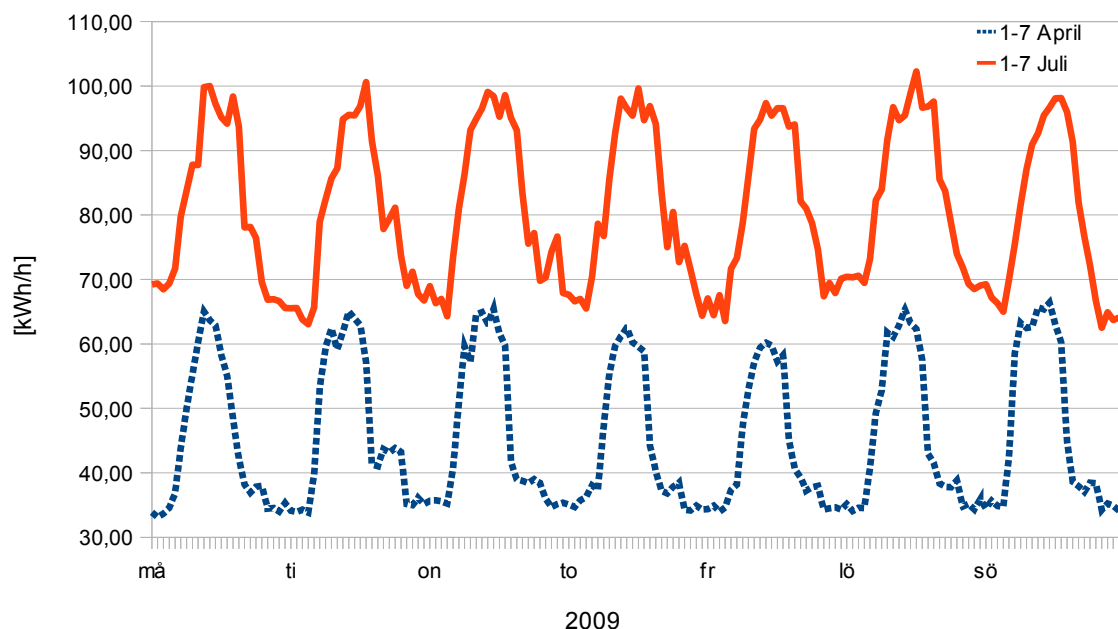
År 2009 förbrukade fastigheten 283 MWh fjärrvärme och 487 MWh elektricitet (Figur 1), totalt 770 MWh. Det blir 444 kWh/m<sup>2</sup>, vilket kan jämföras med snittförbrukningen på 215 kWh/m<sup>2</sup> (Enyckeln, 2010) i Sverige för alla fastigheter som rapporterat sin förbrukning till Enyckeln sedan 2003.



Figur 1. Energiförbrukningen 2008-2009.

Havets Hus får timvis statistik över sin elförbrukning från eldistributören Leva i Lysekil AB. Figur 2 visar elförbrukningen första veckan i april (lågsäsong) när ingen el behövs för kylmaskinerna och första veckan i juli (högsäsong) när kylmaskinerna går på full effekt. Denna graf kan användas för att få en bild av vad som slukar el på Havets Hus.

- Den minsta effekten nattetid under lågsäsong är ca 35 kWh/h, detta representerar alla maskiner som är på i princip dygnet runt, året om, bl.a.: ventilationsfläktar, vattenpumpar, cirkulationspumpar mm.
- Skillnaden mellan natt- och dagförbrukningen är 30-35 kWh/h, detta representerar all utrustning som är på under kontorstid så som: belysning, kontorsapparater mm.
- Skillnaden mellan låg- och högsäsong förbrukningen är 30-35 kWh/h och detta representerar kylmaskinernas elförbrukning för att avfukta luften och för att kyla akvarievattnet.



Figur 2. Elförbrukningen under låg- och högsäsong.

Leva i Lysekil AB levererar även fjärrvärme och priset på fjärrvärmes är 78,75 öre/kWh för 2010-2011, inga fasta avgifter utgår (Leva i Lysekil AB, 2010a). Tabell 1 visar vad elöverföringen kostar, högladdtid är måndag-fredag kl 06:00-22:00 under perioden november till mars (Leva i Lysekil AB, 2010b). Elektricitet köps från Kraft&Kultur som idag (2010-12-30) erbjuder ett fast pris på 104,00-108,25 öre/kWh samt en årsavgift på 250 kr. Deras rörliga pris baseras på föregående månads medelspotpris på Nord Pools spotmarknad (Kraft&Kultur, 2010), och beräknas:  $\text{pris} = \text{moms} * ((\text{föregående månads medelspotpris}) + (\text{påslag}) + (\text{energiskatt}))$ . Tabell 2 visar hur det rörliga priset rört sig historiskt.

Tabell 1. Elnätsavgifter från och med 2011, inklusive moms

Abonnemang [kr/år]	Årseffektavgift [kr/kW och år]	Reaktiv effektavgift [kr/kVa och år]	Höglasttid [öre/kWh]	Låglasttid [öre/kWh]
8750	320	162,5	40	4,38

Tabell 2. Historiskt rörligt pris elektricitet, inklusive moms [öre/kWh]

År	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Medel
2009	106,87	101,75	98,75	96	93,63	90,38	94,88	92,5	93,75	92	91,88	94	95,53
2010	109,25	130,5	163,13	118,38	100,13	94,5	96,88	101	97,5	105,75	106,88	112,13	111,33

## 2.2 Ventilationssystemen

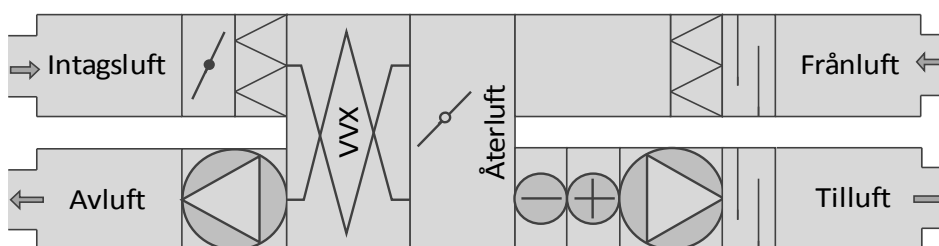
Ventilationen sköts huvudsakligen med 3 st FTX-aggregat, där ”LA2-kontor” ventilerar kontors-, butik- och restaurangutrymmena, ”LA1-Akvariehall” ventilerar Akvariehallen och det tredje FXT-aggregatet ventilerar Exposeum (t.a.c., 2006). Därtill finns skild frånluftsventilation för restaurangköket samt en frånluftsfläkt i ett mindre laborationsutrymme. Jouransvariga på Lysekil kommun har en viss bevakning av ventilationssystemet via dator, och får larm om något går fel i vissa av installationerna.

### 2.2.1 Kontor och övriga utrymmen

Består av butik-, restaurang-, kontor- och förvaltningsutrymmen varav alla ligger i den ursprungliga hotellbyggnaden från slutet av 1800-talet, förutom restaurangen som har byggts vid de två senare tillbyggnadsskedena. Dessa utrymmen betjänas av samma ventilationssystem ”LA2-kontor” som består av ett ventilationsaggregat med en roterande värmeåtervinning, central eftervärmare och kylare placerade lokalt. Kylningen sker med samma luftkylda kylmaskiner som används för Akvariehallens kylare.

### 2.2.2 Akvariehallen

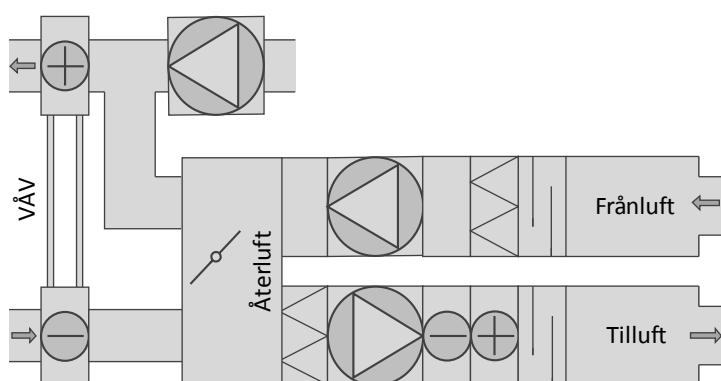
I och med att Akvariehallen byggdes 1993 blev fastigheten Havets Hus ett publikt akvarium. Akvariehallen har ett eget system för luftkonditionering (Figur 3), som inte fungerar tillfredsställande då det blir kondens på akvariernas glasytor.



Figur 3. Luftaggregat LA1-Akvariehall.

- Intagsluften värmeväxlas mot avluften med en plattvärmeväxlare.
  - Aggregatet drivs med två 3-kW:s fläktmotorer som går på full effekt så gott som året runt.
  - Intagsluften blandas med återluft, 60% vid nattdrift och 30% på dagen<sup>2</sup>.
  - När relativa fukthalten överstiger 55% i Akvariehallen så avfuktas tilluften genom att kylas med kylmaskin. Luft med relativ fukthalt på 55% och temperaturen 19°C, vilket ger daggpunkten 9,8°C.
  - Eftervärmaren värmer upp luften till den temperatur som krävs för att hålla börvärde för temperaturen i Akvariehallen: 19°C som mäts på frånluften.
- (t.a.c., 2006).

### 2.2.3 Exposeum



Figur 4. Luftbehandling Exposeum.

Detta är den nya tillbyggnaden med ytterligare ett större akvarium och utrymmen för filmvisning. Luftbehandlingen fungerar tillfredsställande i denna del av akvariet. Se Figur 4 för schematisk bild av aggregatet.

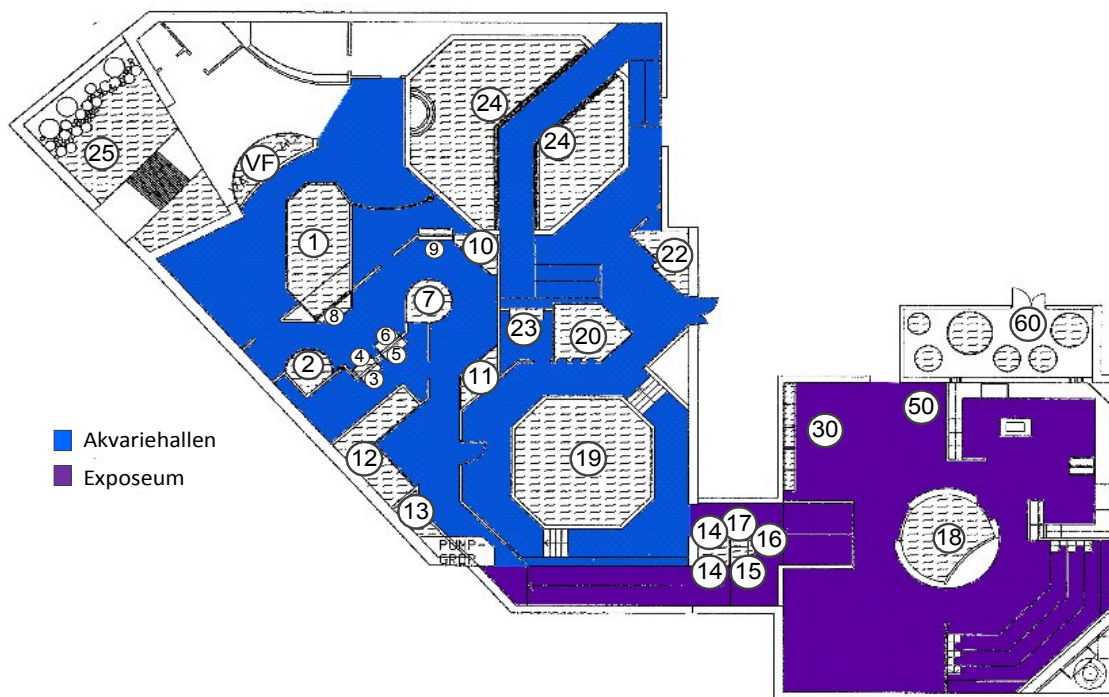
- Intagsluften värmeväxlas mot avluften.
  - Avfuktning sker med utomhusluft om den understiger börvärdet 8°C, annars med kylmaskin. Frånluftens daggpunkt håller börvärdet 12°C<sup>2</sup>.
  - Aggregatet drivs med två 1,5-kW:s fläktar som går på full effekt så gott som året runt.
  - Återluftens styrventil hålls mellan 25% och 50% och styrs av CO<sub>2</sub>- och fukthalten i frånluften.
- (t.a.c., 2006).

## 2.3 Havsvattensinstallationerna

Figur 5 visar en karta av akvarierna i Havets Hus. Akvarium nr 24, tunnelakvariet, är det största på 140 m<sup>3</sup> (Havets Hus, 2010a). Nr 60 på kartan är karantän och är inte tillgängligt för besökare.

<sup>2</sup> Manuell avläsning från kontrollenheten t.a.c. Xenta 300. Avläst (2010-11-16)





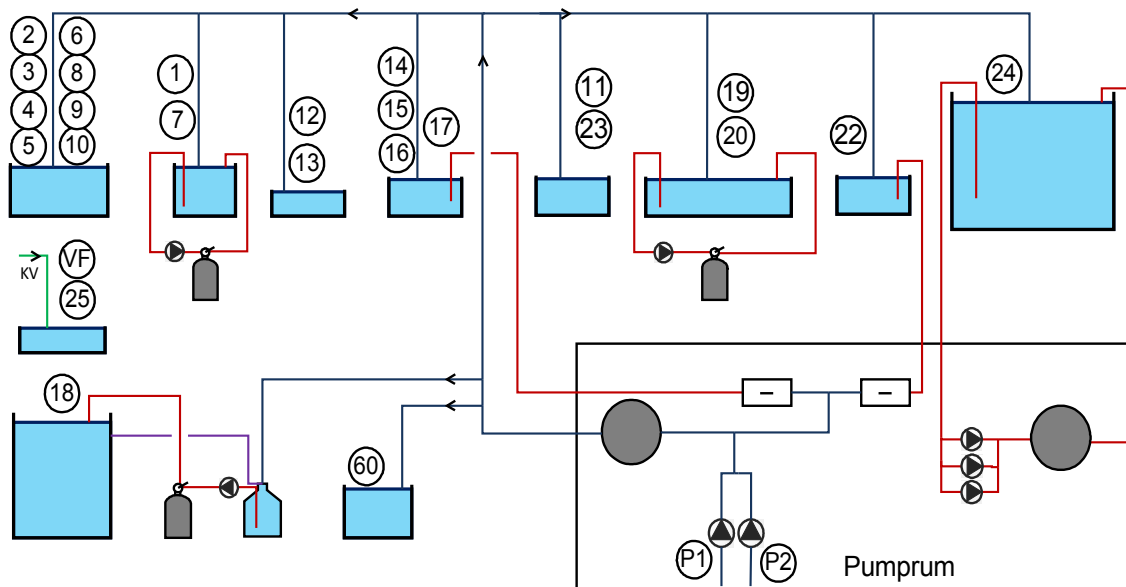
Figur 5. De två akvariehallarna (efter relationshandlingar), retuscherad.

Figur 6 visar en förenklad bild av hur havsvattensinstallationerna på Havets Hus är uppbyggda. Två rör leder ett par hundra meter ut i havet, till ett djup på 32 m, strax utanför Havets Hus. Man använder ett rör ca 3 månader åt gången för att sedan byta till det andra. Det stillastående vattnet i det rör som inte är i användning blir då syrefritt vilket förhindrar att rören växer igen<sup>3</sup>.

Pumparna (P1 & P2 i Figur 6) som tar in havsvattnet har en kapacitet på 34 m<sup>3</sup>/h, men enligt Arne Andersson klarar systemet uppskattningsvis av att ta in ca 20-25 m<sup>3</sup>/h vatten efter att man räknat med tryckförluster i rör och filtersystem.

Vattnet från akvarium 14-17 och 22-23 kyls med luft/vatten-kylmaskin, samma som används för luftkonditioneringen för Exposeum, och återförs sedan till systemet. Effekten av denna nedkylning efter att det nedkylda och det färska havsvattnet blandats är ca 2°C.

<sup>3</sup> Arne Andersson, Akvarietekniker på Havets Hus. Samtal den 17 november 2010.

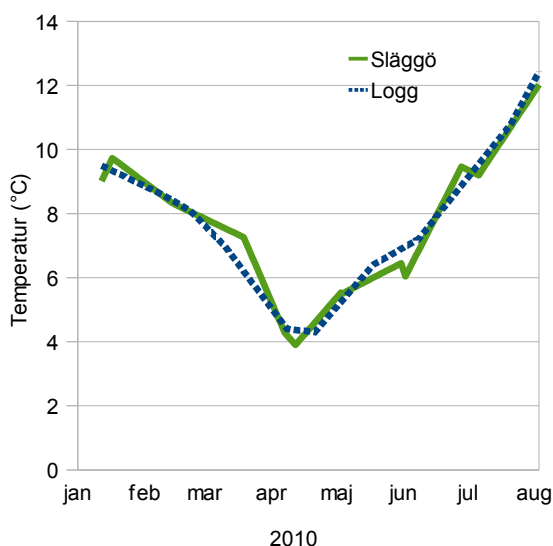


Figur 6. Schematisk bild av havsvattensinstallationerna.

## 3 Driftsförhållanden

I detta kapitel kartläggs de driftsförhållanden som anläggningen opererar under. Statistik för havsvattentemperaturen och hur den påverkar yttemperaturen på akvarieglaset presenteras. Fukt från avdunstning, besökare och utomhusluften beskrivs och även de dimensionerade parametrarna för ett ventilationsaggregat till Akvariehallen beräknas.

### 3.1 Vattentemperatur



Vid Bohuskustens Vattenvårdsförbunds mätstation Släggö, som ligger strax utanför Lysekil, utför man bland annat temperaturmätningar, ca varannan vecka, på 30 m djup. Som man kan se i Figur 7 korrelerar den uppmätta<sup>4</sup> temperaturen vid havsvatteninloppet i Havets Hus bra med mätdata från Släggö mätstation (SMHI/SHARK, 2010). Man kan alltså använda sig av Släggös mätdata för att få reda på hur temperaturen på havsvattnet som tas in varierar efter årstiden.

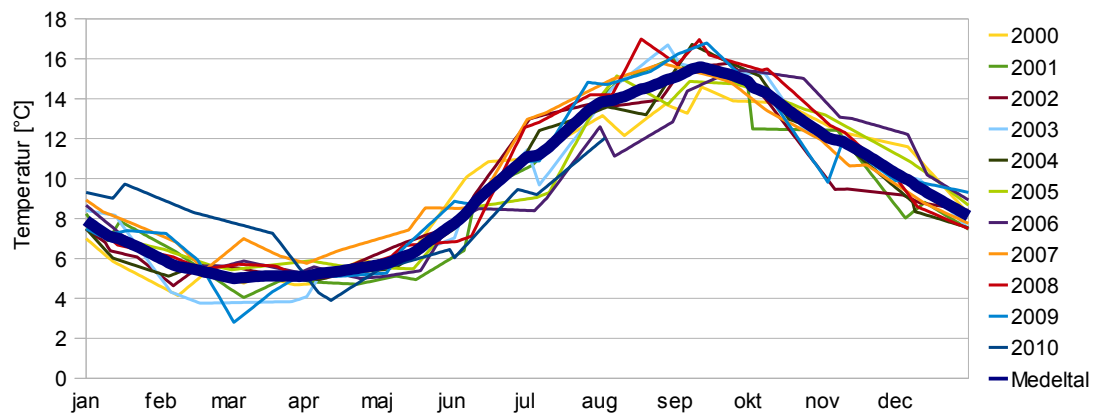
Figur 7. Temperaturkorrelation: Släggö och Havets Hus.

Då färskt havsvatten kontinuerligt pumpas in till akvarierna på Havets Hus har dess temperaturvariation stor betydelse för anläggningen, Figur 8 visar hur temperaturen varierat historiskt. Man har ett behov av att sänka temperaturen på vattnet under perioden juli till november. För höga temperaturer är, enligt Emma Nohrén<sup>5</sup>, inte bra för fiskarna p.g.a. att parasiter frodas och fiskarnas livslängd förkortas, varför temperaturen bör hållas under ca 10°C. Kallt vatten leder till ökade kondensproblem då daggpunkten

<sup>4</sup> Logg akvarieteknikerna för över temperaturen på det inkommande vattnet. Avläst (2010-11-17).

<sup>5</sup> Emma Nohrén, marinbiolog på Havets Hus. Möte (2010-10-25).

sjunker i och med att ytttemperaturen på akvarieglaset sjunker. Även värmeförlusterna genom glaset ökar.



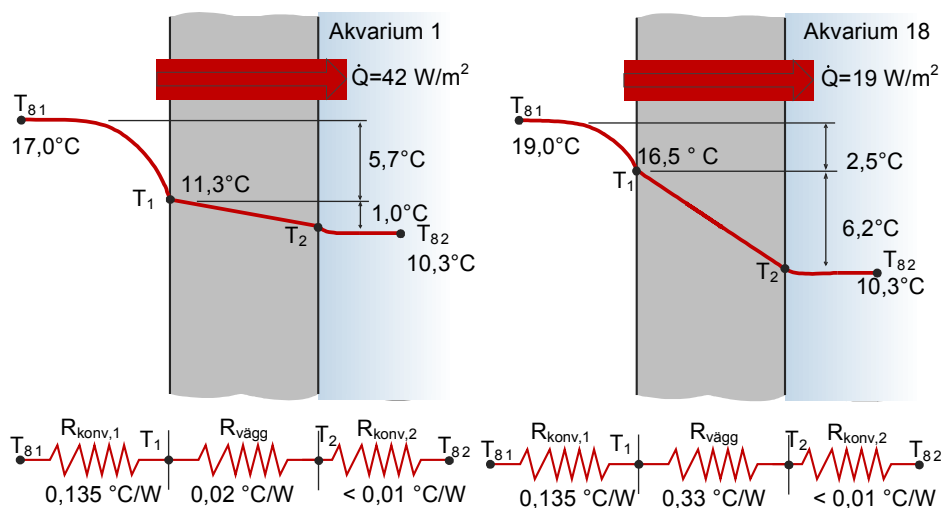
Figur 8. Vattentemperaturen på 30 meters djup vid Släggö mätstation.

### 3.2 Ytttemperaturen på akvarierna

Det akvarium med lägst ytttemperaturen bestämmer vid vilken relativa fukthalt luften i akvariehallarna bör hållas. Från temperaturmätningar utförda i samband med det tidigare examensarbetet kan man se att det är akvarium 1 (se Figur 5) som har den lägsta ytttemperaturen. Även några av de övriga akvarierna i Akvariehallen (äldre delen av det publika akvariet) har låga ytttemperaturen. Dessa akvarier har gamla akvarieglas med lågt termiskt motstånd, R-värde. Det nyare Exposeum, med akvarium 18, har betydligt högre ytttemperaturen, vilket beror på akvarieglas med bättre R-värde men även på högre vattentemperatur då dess vatten cirkuleras lokalt och därmed hinner värmas upp av omgivningen.

Tabell 3 visar uppmätta och beräknade värden för några av akvarierna. När mätningarna utfördes den 16 november 2010 var temperaturen på ingående havsvatten 10,8°C. Vattentemperaturen i akvarium 22 mättes vid inloppet och hade värdet 8,8°C, och representerar temperaturen på vattnet efter nedkylningen. Akvarium 1 cirkulerar (se Figur 5) en del av sitt vatten lokalt och får därmed ett lägre genomflöde av färskt vatten vilket leder till högre vattentemperatur. Akvarium 18 och 24 cirkulerar även de sitt vatten lokalt och i Tabell 3 har deras temperaturökning antagits vara de samma som för akvarium 1 då uppmätta värden saknas. Mätvärden från den 19 maj 2010 är tagna från det tidigare examensarbetet (Hung & Luketa, 2010) och undervattenstunneln betecknas som 24T i tabellen.

Akvarieväggens R-värde påverkar starkt ytttemperaturen ( $T_1$  i Figur 9). Ju lägre R-värde desto lägre ytttemperaturen, vilket leder till större värmeförluster och till att luften måste avfuktas till en lägre daggpunkt.



Figur 9. Akvarieväggens ytemperatur och värmeförlust.

Det konvektiva termiska motståndet (ekvation 1) för en vertikal glasvägg, med strålningsemitansvärde på 0,84, i stillastående inomhusluft kan approximeras till 0,135 (Cengel, 2002, s. 494).

$$R_{konv,1} = 0,135 [m^2 \cdot C / W] \quad (1)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{konv,1}} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \rightarrow R_{total} = \frac{R_{konv,1} (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{T_{\infty 1} - T_1} \quad (2)$$

$$R_{vägg} = \frac{R_{konv,1} (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{T_{\infty 1} - T_1} - (R_{konv,1} + R_{konv,2}) \quad (3)$$

Ekvation (2 & 3) kan tillsammans med de uppmätta värdena i Tabell 3 användas för en uppskattning av glasväggens R-värde samt värmeförlusterna till akvarievattnet.

Tabell 3. Akvarieglasets beräknade R-värde och värmeförlust

Akvarium nr	Datum	Akvarium- glasets $T_1$ [°C]	Temperatur		Akvarium- vatten $T_{\infty 2}$ [°C]	Termiska motståndet $R_{vägg}$ [m²·°C/W]	Värmeförlust $\dot{Q}$ [W/m²]
			Frånluft $T_{\infty 1}$ [°C]	Havsvatten- inloppet [°C]			
22	10-11-16	14,0±0,75	16,5±0,2	10,8±0,2	8,8±0,2	0,28	19
1 (a)	10-11-16	11,3±0,75	17,0±0,2	10,8±0,2	10,3±0,2	0,02	42
1 (b)	10-05-19	10	18,7±0,2	6,4±0,2	7,9	0,03	64
18 (a)	10-11-16	16,5±0,75	19,0±0,2	10,8±0,2	10,3	0,33	19
18 (b)	10-05-19	16	19,3±0,2	6,4±0,2	7,9	0,34	24
24 (a)	10-11-16	13,8±0,75	17,0±0,2	10,8±0,2	10,3	0,15	24
24 (b)	10-05-19	13	20,0±0,2	6,4±0,2	7,9	0,10	52
24T (a)	10-11-16	12,0±0,75	15,5±0,2	10,8±0,2	10,3	0,07	26
24T (b)	10-05-19	11	17,8±0,2	6,4±0,2	7,9	0,06	50

Det U-värde som glastillverkare redovisar för sitt glas är mätt under standardförhållanden (Cengel, 2002, s. 495) med ekvation (4) och standard-konvektionskoefficienterna. Tabell 4 visar det totala U-värdet beräknat med ekvation (4), där  $R_{vägg}$  värdena är tagna från Tabell 3.

$$\frac{1}{U_{total}} = \frac{1}{h_i} + R_{vägg} + \frac{1}{h_u} [W/m^2 \cdot C] \quad (4)$$

$$h_i = 8,29 [W/m^2 \cdot C] = \text{konvektions koefficient inomhus}$$

$$h_u = 29 [W/m^2 \cdot C] = \text{konvektions koefficient utomhus}$$

Tabell 4. Det totala U-värdet för akvarieglaset

Akvarium nr	22	1 (a)	1 (b)	18 (a)	18 (b)	24 (a)	24 (b)	24T (a)	24T (b)
$U_{total}$ [W/m <sup>2</sup> ·°C]	2,3	5,6	5,3	2,0	2,0	3,3	3,9	4,5	4,6

Akvarieglaset i akvarium 1 har ett väldigt lågt termiskt motstånd, ytemperaturen på glaset ligger endast litet över temperaturen i vattnet och därmed behöver avfuktningen av luften ske till en daggpunkt som ligger nära temperaturen på vattnet vid havsvatteninloppet. Det låga termiska motståndet gör även att värmeförlusten per m<sup>2</sup> glasvägg är mer än dubbelt större för akvarium 1 än för akvarium 18.

### 3.3 Fuktavdunstning från akvarierna

Den drivande kraften för masstransport är koncentrationsskillnaden, i det här fallet vattenångans densitetsskillnad (se Figur 10) mellan den vid vattenytan och i den omgivande luften (Cengel, 2002, s. 756). Ekvation (5) beskriver avdunstningen från vattenytan.

$$\dot{m}_v = h_{massa} A_{yta} (\rho_{v, yta} - \rho_{v, \infty}) \quad (5)$$

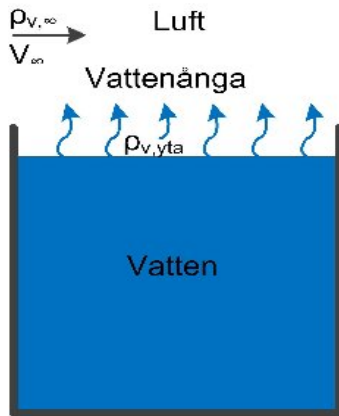
$$\dot{m}_v [kg/s] = \text{mängden vattenmassa som avdunstar}$$

$$h_{massa} [m/s] = \text{genomsnittlig konvektiv massöverföringskoefficient}$$

$$A_{yta} [m^2] = \text{area på vattenytan}$$

$$\rho_{v, yta} [kg/m^3] = \text{vattenångans masskoncentration vid vattenytan}$$

$$\rho_{v, \infty} [kg/m^3] = \text{vattenångans masskoncentration i den omgivande luften}$$



Figur 10. Avdunstning från akvarierna.

Luften vid vattenytan är mättad och därmed är ångtrycket vid ytan lika med vattnets mättnadstryck vid yttemperaturen som varierar i de olika akvarierna efter årstiden. Ångtrycket i den omgivande luften är beroende av luftens temperatur och relativa fukthalt. Lufttemperaturen hålls kring 19°C och fukthalten bestäms efter akvarieglasets yttemperatur och ligger mellan 50% och 65%.

Ekvation (6) anger ångtrycket i luften när den hålls vid 19°C.

$$P_{v, \infty} = \phi P_{sat @ T_{\infty}} = \phi P_{sat @ 19^{\circ}\text{C}} = \phi (2,207 \text{ kPa}) \quad (6)$$

Under rådande förhållanden lyder vattenånga och luft under ideala gaslagen som ger densiteten:

$$\rho_{\infty} = \rho_{v, \infty} + \rho_{l, \infty} \quad (7)$$

$\rho_{\infty} [\text{kg}/\text{m}^3]$  = totala gasdensiteten vid  $\infty$ , där  $\infty$  betecknar det omgivande rummet långt från gränsytan

$$\rho_{v, \infty} [\text{kg}/\text{m}^3] = \frac{P_{v, \infty}}{R_v T_{\infty}} = \text{ångdensiteten vid } \infty$$

$$\rho_{l, \infty} = \frac{P_{l, \infty}}{R_l T_{\infty}} [\text{kg}/\text{m}^3] = \text{luftdensiteten vid } \infty$$

$$P_{v, \infty} [\text{kPa}] = \text{ångtrycket vid } \infty$$

$$P_{l, \infty} = P_{total} - P_{v, \infty} [\text{kPa}] = \text{tryck, torr luft}$$

$$R_v = 0,4615 [\text{kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K}] = \text{vattenångans gaskonstant}$$

$$R_l = 0,287 [\text{kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K}] = \text{luftens gaskonstant}$$

$$T_{\infty} [\text{K}] = \text{absoluta temperaturen vid } \infty$$

Samma gäller vid vattenytan:

$$\rho_{yta} = \rho_{v, yta} + \rho_{l, yta} \quad (8)$$

$$\rho_{yta} [\text{kg}/\text{m}^3] = \text{totala gasdensiteten vid vattenytan}$$

$$\rho_{v, yta} [\text{kg}/\text{m}^3] = \frac{P_{v, yta}}{R_v T_{yta}} = \text{ångdensiteten vid vattenytan}$$

$$\rho_{l, yta} = \frac{P_{l, yta}}{R_l T_{yta}} [\text{kg}/\text{m}^3] = \text{luftdensiteten vid vattenytan}$$

$$P_{v, yta} = [\text{kPa}] = \text{ångtrycket vid vattenytan}$$

$$P_{l, yta} = P_{total} - P_{v, \infty} = [\text{kPa}] = \text{tryck, torr luft}$$

$$T_{yta} = [K] = \text{absoluta temperaturen vid vattenytan}$$

Naturlig konvektion uppstår när densiteten på luft/vattenånga-blandningen vid ytan är lägre än luftens densitet i den omgivande luften, dvs när  $\rho_{yta} < \rho_{\infty}$  (Cengel, 2002, s. 780). Densiteten på luften när dess temperatur är 19°C och dess relativa fukthalt är 64% fås med ekvationerna (6 & 7).

$$\rho_{\infty @ 19C, 64\%} = \rho_{v, \infty} + \rho_{l, \infty} = 1,202 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Antar man en vattentemperatur på 18°C får man densiteten på luft/vattenånga-blandningen vid vattenytan med ekvation (8).

$$\rho_{yta @ 18C} = 1,203 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$\rho_{yta @ 18C} < \rho_{\infty @ 19C, 64\%}$  vilket betyder att så länge vattentemperaturen hålls under ca 18°C, vilket är fallet på Havets Hus, kommer ingen naturlig konvektion uppstå.

Då det finns ett viss lufrörelse i lokalerna pga ventilationen så kan konvektiva masstransportkoefficienten,  $h_{massa}$ , beräknas med ekvation (9). Då vattenångans massdiffusion i luft ( $D_{H_2O-luft}$ ) och luftens dynamiska viskositet ( $\nu$ ) praktiskt taget är konstanta under rådande förhållanden kan dessa värden tas från tabell för en medellufttemperatur på 15°C (Cengel, 2002, s. 726 & s. 874).

$$h_{massa} [\text{m}/\text{s}] = \frac{Sh * D_{H_2O-luft}}{L_c} = 0,664 \frac{(D_{H_2O-luft})^{2/3}}{\nu^{1/6}} \frac{V^{1/2}}{L_c^{1/2}} = K \frac{V^{1/2}}{L_c^{1/2}} \quad (9)$$

$$K = 0,0035 [\text{m}/\sqrt{(\text{s})}] = \text{konstant}$$

$$Sh = 0.664 \text{ Re}^{1/2} \text{ Sc}^{1/3} = \text{Sherwoods tal}$$

$$\text{Sc} = \frac{\nu}{D_{H_2O-Luft}} = \text{Schmidt tal}$$

$$\text{Re} = \frac{V * L_c}{\nu} = \text{Reynolds tal vid laminärt flöde}$$

$$D_{H_2O-Luft} = 2,33 * 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}] = \text{vattenånga i luft massdiffusion}$$

$$\nu = 1,47 * 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}] = \text{kinematisk viskositet}$$



$V=[m/s]=\text{lufthastigheten ovanför akvariumytan}$

$L_c=[m]=\text{ytans karakteristiska längd, dvs areall/perimeter}$

Sätter man in ekvation (5) i ekvation (9) får man vattenavdunstningen från akvarierna som en funktion av den variabla lufthastigheten och densitetsskillnaden,  $f(V, \Delta \rho)$ .

$$\dot{m}_v = K \left( \frac{V}{L_c} \right)^{1/2} A_{yta} (\rho_{v,yta} - \rho_{v,\infty}) \quad (10)$$

För att undvika drag brukar man i Sverige ha 0,15 m/s som övre gräns för lufthastigheter för kontor, bostäder m.m. (Installationsteknik, 2008, s.141). Då man i Havets Hus har rätt hög luftomsättning då ventilationen står för uppvärmning och avfuktning, har jag här räknat med det dubbla värdet, dvs 0,3 m/s, för akvarium 1, 18 & 19. För övriga akvarier har jag använt värdet 0,1 m/s då dessa är mer skyddat placerade. Tabell 5 visar beräknad avdunstning från akvarierna under högsäsong juli-augusti när vattentemperaturen är hög och Tabell 6 visar avdunstningen under vår- och höstsäsong.

Tabell 5. Avdunstning från akvarium: luftens daggpunkt är 12°C och vattentemperaturen är 15°C

Akvarium nr	Yt-areal $A_{yta}$ [m <sup>2</sup> ]	Perimeter $p$ [m]	Hastighet $V$ [m/s]	Avdunstning $\dot{m}$ [kg/h]
1	12,5	14,3	0,3	0,22
19	30	20	0,3	0,41
2-13	16,5	40	0,1	0,25
14-17 & 20-23	16	35	0,1	0,23
Akvariehall totalt	75			1,1
18	8,7	11,7	0,3	0,17

Tabell 6. Avdunstning från akvarium: luftens daggpunkt är 10°C och vattentemperaturen är 11°C

Akvarium nr	Yt-areal $A_{yta}$ [m <sup>2</sup> ]	Perimeter $p$ [m]	Hastighet $V$ [m/s]	Avdunstning $\dot{m}$ [kg/h]
1	12,5	14,3	0,3	0,08
19	30	20	0,3	0,15
2-13	16,5	40	0,1	0,09
14-17 & 20-23	16	30	0,1	0,08
Akvariehall totalt	75			0,41
18	8,7	11,7	0,3	0,04

Därtill finns det ett vattenfall (VF i Figur 5) där man använder sötvatten som får cirkulera. Fuktavdunstningen från ett sådant vattenfall kan vara relativt stor om

temperaturen på vattnet i det närmar sig lufttemperaturen. Fukt som avdunstar från akvarium 24, 25 och karantänen belastar inte luftbehandlingssystemen i akvariehallarna.

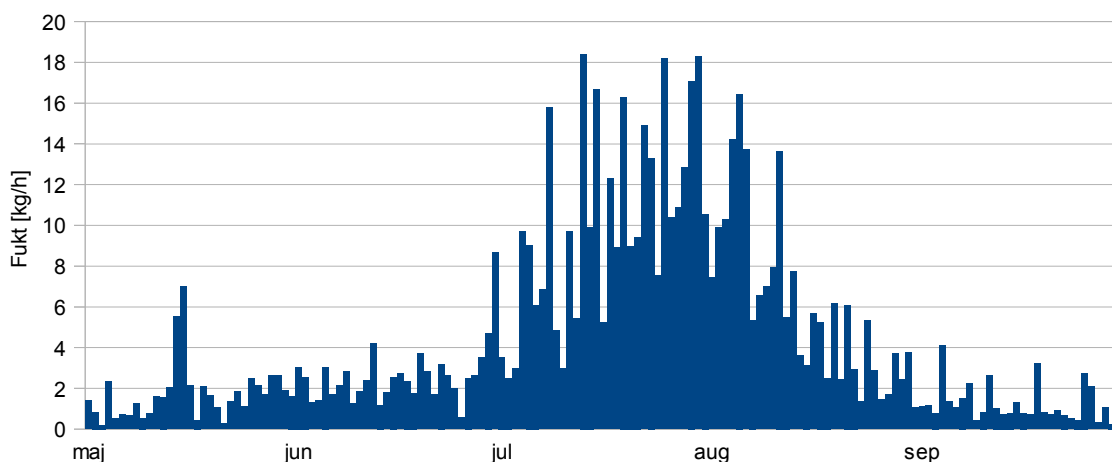
### 3.4 Fukt från besökare

Enligt det tidigare gjorda examensarbetet (Hung & Luketa, 2010) avger en besökare i genomsnitt 70 g vatten per besök. Besöksstatistiken för 2010 (Havets Hus, 2010c) anger antal besökare per dag, dividerar man detta med öppethållningstiderna så fås resultatet, det vill säga antal besökare per timme. Öppethållningstiderna är 8 timmar mellan 13 juni till 22 augusti och 6 timmar övriga årstider (Havets Hus, 2010b). Ekvation (11) beräknar fuktalstringen från besökarna, resultatet visas i Figur 11. Fuktalstringen från besökare kan vara upp till 18 kg/h under turistsäsongen juli till augusti.

$$\dot{m}_{fukt} [kg/h] = B * F \quad (11)$$

$B [st/h]$  = besökare per timme under öppethållningstiderna

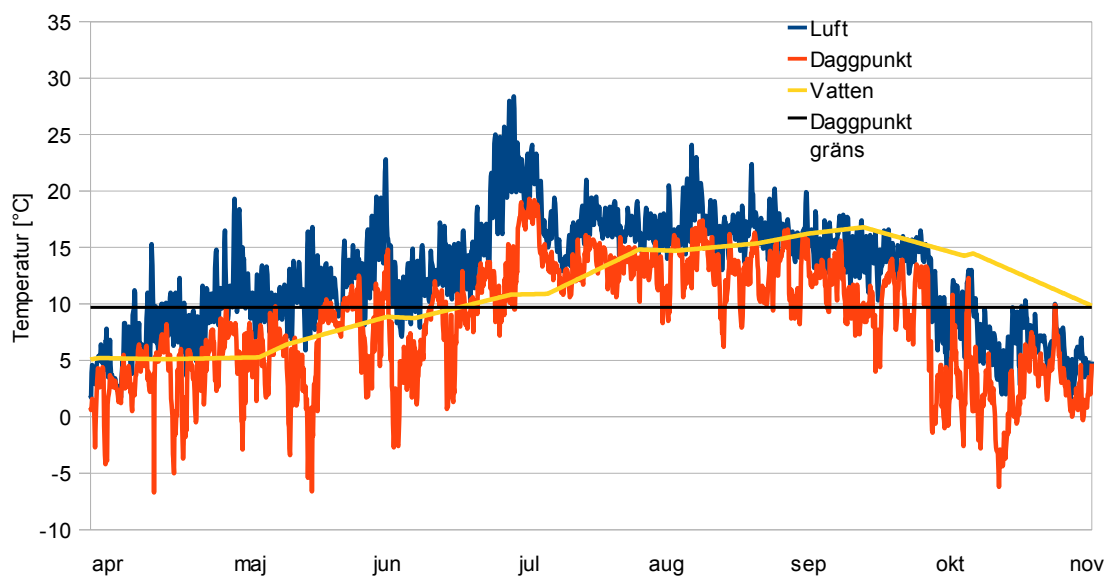
$F [kg/st]$  = 0,070 = genomsnittlig fuktavgivning per besök



Figur 11. Fukt från besökare baserat på besöksstatistik för 2010.

### 3.5 Fukt i tilluften

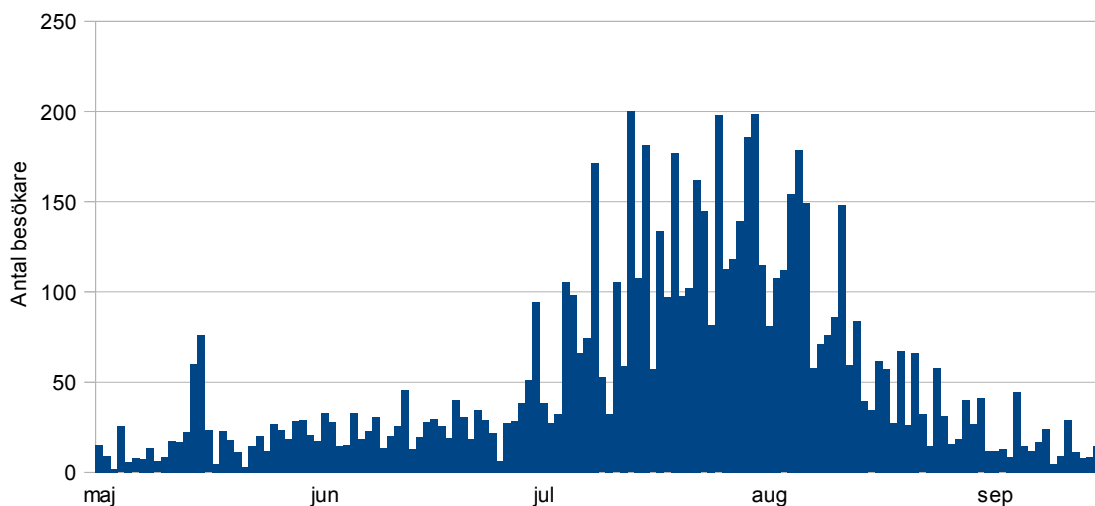
SMHI har en mätstation på ön Nordkoster som ligger 80 km norr om Lysekil. Nordkosters havsklimat bör matcha klimatet i Lysekil rätt bra. Figur 12 visar när avfuktning av tilluften krävs med nuvarande dagpunkts börvärde (SMHI, 2010).



Figur 12. Luftens temperatur och daggpunkt samt temperatur på havsvattnet.

### 3.6 Ventilationsbehov

En besökare vistas i genomsnitt 45 minuter på Havets Hus (Hung & Luketa, 2010). Figur 13 visar hur många besökare som i genomsnitt vistades samtidigt i de publika delarna av Havets Hus år 2010 (antal besökare per dag)(45/60)/(öppettider).



Figur 13. Antal besökare samtidigt i Havets Hus år 2010.

För att  $\text{CO}_2$  halten skall ligga under det rekommenderade börvärdet 1000 ppm behövs 9-10 l/s frisk luft per person, BBR-minimikrav 0,35 l/m<sup>2</sup>·s (Abel & Elmroth, 2006, s. 181). Akvariehallens yta är ca 62% av den totala ytan på 845 m<sup>2</sup> för de publika delarna av

Havets Hus (Relationshandlingar, 2000). Ekvationerna (12 & 13) anger minimi- och maximivärdena för frisk luft som Akvariehallens ventilationssystem behöver tillfredsställa.

$$\dot{V}_{l, \min} = C_{andel} * A_{yta} * \dot{V}_{\min} = 0,18 [m^3/s] \quad (12)$$

$$\dot{V}_{l, \max} = C_{andel} * B_{\max} * \dot{V}_{\text{per}} = 1,24 [m^3/s] \quad (13)$$

$$A_{yta} = 845 [m^2] = \text{publika akvariehallarnas totala area}$$

$$C_{andel} = 62 [\%] = \text{Akvariehallens ytandel av de publika delarna}$$

$$B_{\max} = 200 [\text{besökare}] = \text{max antal besökare}$$

$$\dot{V}_{\min} = 0,35 [l/s \cdot m^2] = \text{minimum frisk luft per } m^2$$

$$\dot{V}_{\text{per}} = 10 [l/s \cdot \text{besökare}] = \text{rekomenderad mängd frisk luft per besökare}$$

Från Figur 11 avläses att fuktalstringen från besökare kan vara upp till 18 kg/h. Från Tabell 5 fås fuktavdunstning på 1,1 kg/h under högsäsong, detta värde dubblas till 2,2 kg/h för att beakta avdunstning från vattenfallet som är okänt och svårt att beräkna. Ekvation (14) anger hur mycket intern fuktbelastning ventilationssystemet behöver klara under maximal belastning.

$$\dot{m}_{fukt} = C_{andel} * B_{fukt} + F_{evop} = 0,0037 [kg/s] \quad (14)$$

$$\dot{m}_{fukt} = \text{den maximala fuktalstringen i Akvariehallen}$$

$$C_{andel} = 62 [\%] = \text{Akvariehallens ytandel av de publika delarna}$$

$$B_{fukt} = 0,0050 [kg/s] \text{ fukt från besökare}$$

$$F_{evop} = 0,0006 [kg/s] \text{ avdunstning från akvarier och vattenfall}$$

## 4 Åtgärder

I detta kapitel presenteras några åtgärdsförslag. Tre alternativa ventilationsaggregat och beräkningar av deras energiförbrukning presenteras för Akvariehallen. Vad ett byte av akvarieglas till glas med bättre termiskt motstånd har för effekt på energiförbrukningen är en annan åtgärd som utreds. Även metoder att reglera börvärdet för daggpunkten och en beräkning av energibesparingspotentialen med att stänga av fläktmotorer under nattdrift presenteras.

### 4.1 Ventilationsaggregat till Akvariehallen

Ventilationen fungerar inte tillfredsställande i Akvariehallen, kylmaskinerna för avfuktningen är underdimensionerade och under stor besöksbelastning överstiger CO<sub>2</sub> halten det rekommenderade börvärdet på 1000 ppm<sup>6</sup>.

#### 4.1.1 Alternativ 0: grundalternativ

I detta alternativ görs inga större förändringar av det nuvarande systemet, förutom att kylmaskinernas och eftervärmarens kapacitet förbättras så att systemet klarar av uppgiften att hålla akvariehallen kondensfri. Figur 3 visar hur detta system är uppbyggt. Börvärdet för daggpunkten följer års schemat i Tabell 13, där daggpunktens absoluta fukthalt visas.

Intagsluften värmväxlas först med frånluften för att sedan avfuktas genom att kylas ned med hjälp av kylmaskin och sedan eftervärmas för att få rätt tilluftstemperatur. Andelen färskluft regleras med ett återlufts-system. I Tabell 7 redovisas samma resultat för VVX, eftervärmare och kylmaskin som i alternativ 1. Fläktmotorernas energiförbrukning beräknas genom att en simulering genomförs med ”modell 1” (se kapitel 5.2) där fläktmotorerna antas vara på full effekt året om, och maximieffekt sätts till 3 kW per fläktmotor.

---

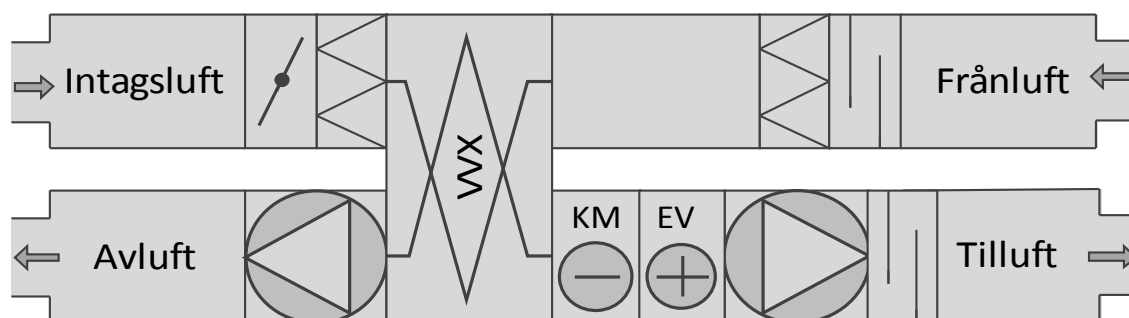
<sup>6</sup> Johan Lind, servicetekniker. Möte på Havets Hus den 17 november 2010.

Tabell 7. Resultat från simulering alternativ 0

	VVX	Eftervärmare	Kylmaskin W	Fläktar	Totalt
Energi [kWh]	20300	32900	27000	52200	132400
El [kWh]			10800	52200	63000
Fjärrvärme [kWh]		32900			32900
Kostnad [kr]		25900	11800	60900	<b>98600</b>

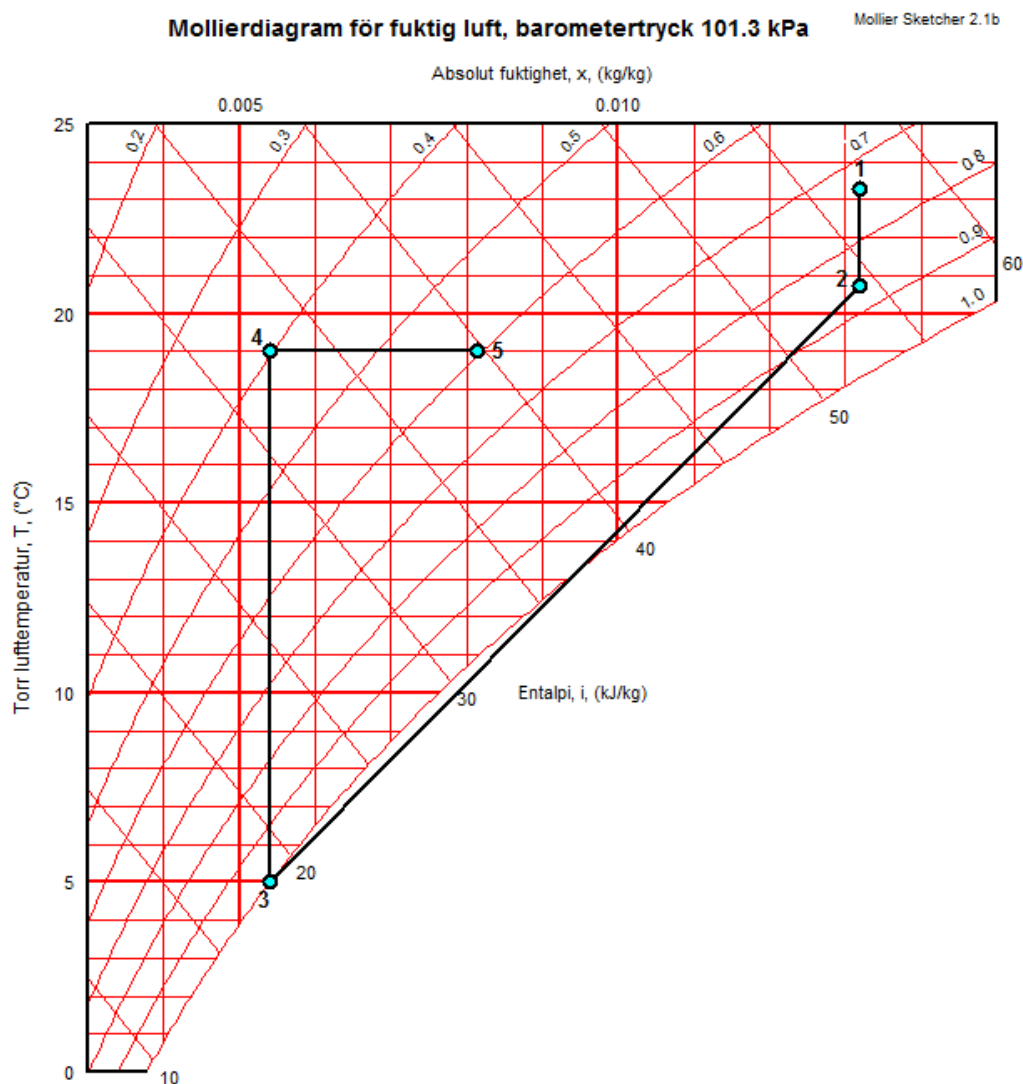
#### 4.1.2 Alternativ 1: variabelt luftflöde

I detta alternativ använder man samma upplägg som i alternativ 0 för avfuktningen. Men de statiska fläktarna byts ut mot direktdrivna och deras kapacitet styrs med frekvensomriktare och därmed kan även återlufts-systemet slopas. Se Figur 14 för schematisk bild av aggregatet. Kapaciteten på fläktmotorerna styrs efter ventilationsbehovet som bestäms med hjälp av CO<sub>2</sub>- och fukt-sensorer. När daggpunkten i intagsluften understiger börvärdet 7°C sker avfuktningen endast med hjälp av färsk utomhusluft, värmeväxlaren styrs så att ingen onödig värmeväxling sker mellan temperaturerna 7-19°C. Börvärdet för frånluftens daggpunkt följer års schemat i Tabell 13.



Figur 14. Ventilationsaggregat alternativ 1.

Den 4 juli var den dag som hade den högsta absoluta fukthalten om man tittar på klimatdata från 2009. Luften hade då som mest en temperatur på 23,3°C och en relativ fukthalt på 74,5%. Om man antar att denna dag även var en dag med många besökare får man fram vilken kapacitet avfuktningen maximalt bör klara av. 1-2 i Figur 15 är värmeväxlingen mellan frånluften och intagsluften. 2-3 är den mekaniska kylningen. Antar man ett luftflöde på 1,6 kg/s får man fram att den kyleffekt som kylmaskinen bör klara av som mest är 54 kW. Med ett COP på 3 drar en sådan kylmaskin 18 kW el. 3-4 är eftervärmaren som i detta fall kräver 21 kW i fjärrvärme. Temperaturen vid havsvatteninloppet var vid denna tidpunkt 10,8°C (se Figur 8). Detta ger ett daggpunkts börvärde på ca 11°C (för beräkning se kapitel 3.2) som tillsammans med lufttemperaturen på 19°C representerar punkt 5 i Mollierdiagrammet. Från Mollierdiagrammet avläses att systemet klarar av ca 13 liter intern fuktalstring per timme.



Figur 15. Mollierdiagram för dimensionering alternativ 1.

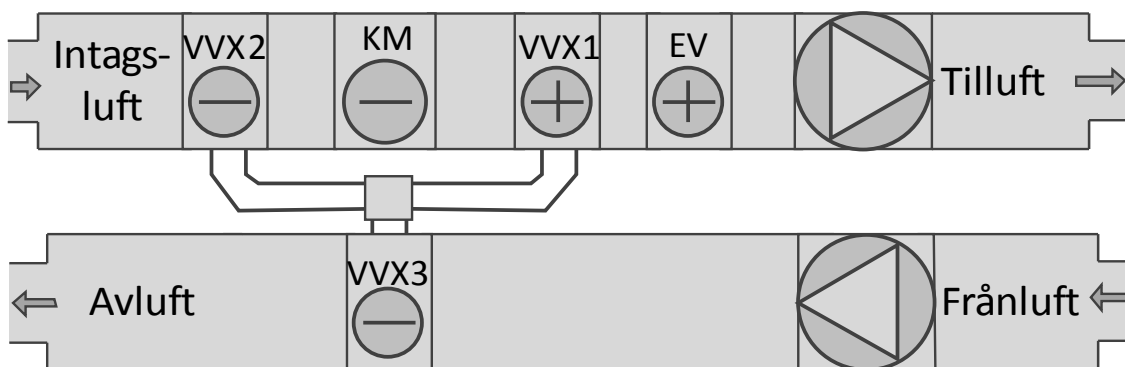
En simulering utförs med ”modell 1” (se kapitel 5.2) och resultatet redovisas i Tabell 8. Fläktmotorernas maxeffekt är satt till 2,8 kW och vid full effekt antas de leverera 1,6 kg luft i sekunden. Detta värde är i linje med vad som beräknats fram som dimensionerande maxkapacitet i kapitel 3.6, och bygger på antagandet att de befintliga ventilationskanalerna är dimensionerade för detta flöde. Ett minsta värde på luftflödet sätts till 25% av max kapacitet, dvs 0,4 kg/s.

Tabell 8. Resultat från simulering alternativ 1

	VVX	Eftervärmare	Kylmaskin W	Fläktar	Totalt
Energi [kWh]	20300	32900	27000	1340	81540
El [kWh]			10800	1340	12140
Fjärrvärme [kWh]		32900			32900
Kostnad [kr]		25900	11800	1520	<b>39220</b>

#### 4.1.3 Alternativ 2: "wraparound"

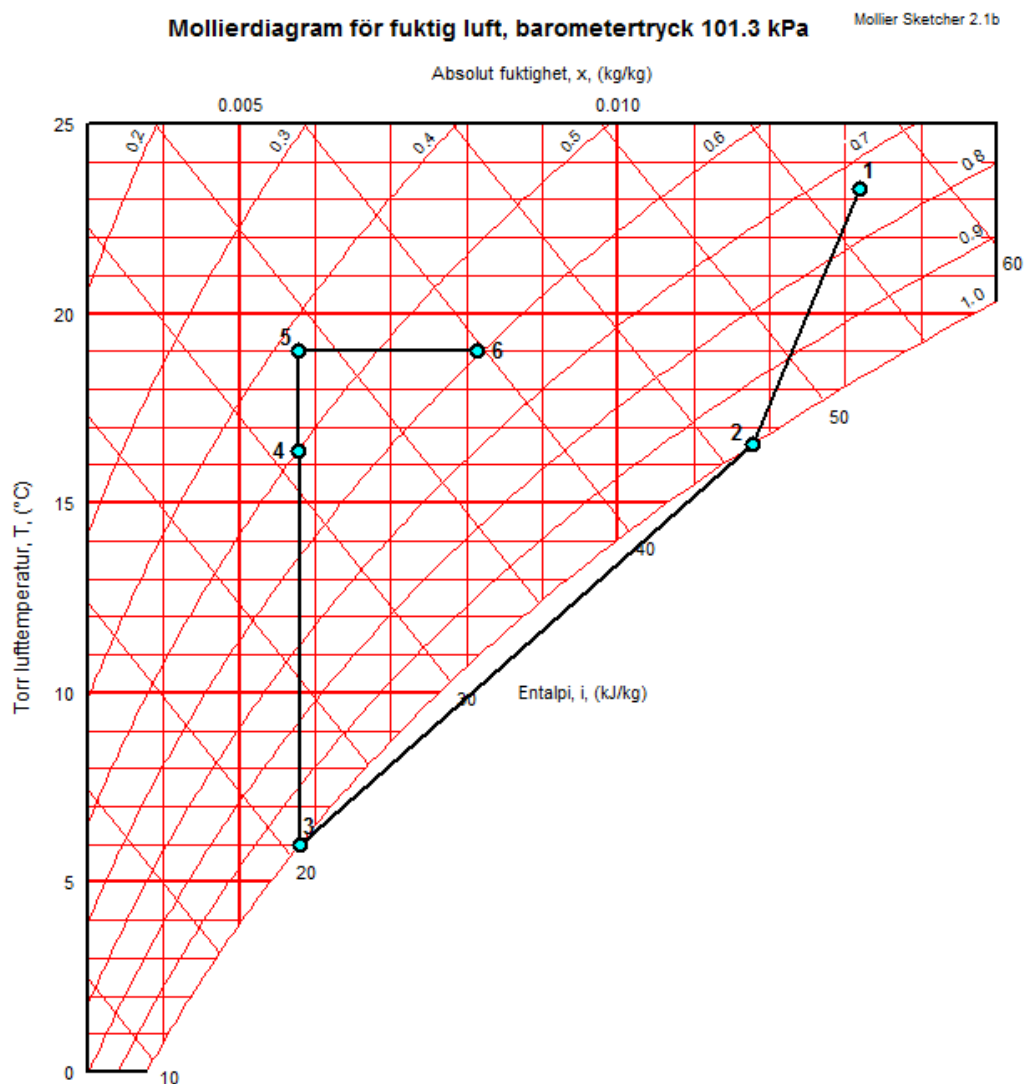
I detta alternativ effektiviseras avfuktningen genom att återvinna energi på båda sidor om den mekaniska kylmaskinen, dvs varm luft före kylmaskinen (KM i Figur 16) värmeväxlas med kall luft efter kylmaskinen (VVX2 till VVX1). När daggpunkten i intagsluften understiger börvärdet på t.ex. 7°C och ingen mekanisk avfuktning sker återvinns energin från frånluften istället (VVX3 till VVX1). Fläktarna är de samma och styrs på samma sätt som i alternativ 1.



Figur 16. Ventilationsaggregat alternativ 2.

1-2 i Figur 17 visar värmeväxlingen mellan intagsluften och luften efter kylning (punkt 3 i Mollier diagrammet). 2-3 är den mekaniska kylningen. Antar man ett luftflöde på 1,6 kg/s får man resultatet att den kyleffekt som kylmaskinen bör klara av som mest är 41 kW. Med ett COP på 3 drar en sådan kylmaskin ca 14 kW el. 3-4 är den energi som VVX:n återvinner efter kylmaskinen. 4-5 visar eftervärmaren som i detta fall kräver 4,3 kW fjärrvärme. Antar man att frånluftens daggpunkts värde för att undvika kondens är 11°C vid denna tidpunkt får man resultatet att systemet klarar av ca 13 liter intern fuktalstring per timme.





Figur 17. Mollierdiagram för dimensionering alternativ 2.

En simulering utförs med modell 2 (se kapitel 5.3) och resultatet redovisas i Tabell 9. Fläktmotorernas maximieffekt är satt till 2,8 kW och vid full effekt antas de ha en kapacitet på 1,6 kg/s.

Tabell 9. Resultat från simulering alternativ 2

	VVX	Eftervärmare	Kylmaskin W	Fläktar	Totalt
Energi [kWh]	37600	24100	18500	1340	81540
El [kWh]			7400	1340	8740
Fjärrvärme [kWh]		24100			24100
Kostnad [kr]		19000	8110	1520	<b>28630</b>

## 4.2 Byte av akvarieglas

Med att byta ut akvarieglaset på de akvarier med glas som har sämst termiskt motstånd minskar man på värmeförlusterna. Dessutom höjer man ytemperaturen på glaset och kan därmed hålla en högre maximal daggpunkt i akvariehallsluften vilket sparar både värmeenergi och elektricitet vid avfuktningen. Byter man ut glaset i akvarium 1 mot nytt glas av samma klass som i akvarium 18 minskas energiförlusten till akvariet med ca 2300 kWh/år, med dagens pris på fjärrvärme innebär det en besparing på ca 1800 kr/år.

Tabell 10. Energibesparing genom att byta glas i akvarium 1

	Glas area [m <sup>2</sup> ]	R <sub>vägg</sub> [m <sup>2</sup> ·°C/W]	Genomsnittlig Δ T	Q̇ [W]	Q [kWh/år]
Nu	7	0,025	9	394	3449
Nytt glas, som i akvarium 18	7	0,33	9	135	1187
Minskad värmeförlust					2262

För att få en uppfattning om hur stor besparingen är i och med en minskad belastning på ventilationsaggregatet när daggpunkten höjs görs en likadan simulering som i åtgärdsförslaget ”variabelt luftflöde” som beskrivs i kapitel 4.1.2. Det enda som ändras är att frånluftens daggpunkt antas ligga 1°C högre över hela året. Resultatet från en sådan simulering är en besparing på ca 1500 kr på grund av minskad energiförbrukning vid avfuktningen och att den maximala kyleffekten för den mekaniska avfuktningen sjunker med ca 10 kW. Detta betyder att den abonnerade maximieffekten på el kan sänkas vilket leder till en besparing på ca 1000 kr/år. Att byta ut glaset i de akvarier som har lägst termiskt motstånd så att daggpunkten i frånluften höjs med 1°C för att undvika kondens, ger en energikostnadsbesparing på ca 4300 kr/år.

## 4.3 Börvärde för daggpunkt

I dag fungerar ventilationsaggregatet i Akvariehallen med ett konstant värde för daggpunkten som luften bör hålla för att undvika kondens, detta värde är satt till 9,8°C. Men temperaturen i akvarierna varierar vilket betyder att daggpunkten för att undvika kondens ligger på ca 9-13°C beroende på årstid.

För att få ett bättre börvärde kan man använda sig av ett års schema som i Tabell 13. Tabellen används i de två simuleringsmodellerna. Men då temperaturvariationen är olika från år till år är det svårt göra ett korrekt års schema. Ett alternativ för att få ett exaktare börvärde är att mäta det, t.ex. med en temperatursensor på det akvarium med lägst ytemperatur.

För att få en uppfattning om besparingspotentialen med ett bra utformat års schema i

jämförelse med ett konstant börvärde görs simuleringar som i kapitel 4.1 förutom att ett konstant daggpunkt-börvärde på 9°C används, vilket är den maximala daggpunkten luften bör ha för att undvika kondens året om. Resultatet är att i modell 1 stiger de rörliga energikostnaderna med ca 8000 kr/år. För modell 2 stiger de rörliga energikostnaderna med ca 6500 kr/år. Ett väl utformat års schema eller ännu hellre en temperatursensor för att få bra börvärden för daggpunkten är en lönsam investering.

#### 4.4 LA2-kontor

Ventilationsaggregatet ”LA2-kontor” har två fläktmotorer på vardera 3 kW, dessa går i princip dygnet runt. Stänger man av dessa under 5 timmar varje natt sparar man 10950 kWh elektricitet per år (se Tabell 11). Även värmeförlusterna med ventilationsluften skulle minska märkbart.

*Tabell 11. Minskad elkonsumtion med ”LA2-kontors” fläktmotorer avstängda*

Avstängda [h/dygn]	Dagar i drift [dygn/år]	Motor Effekt [kW]	Minskad elkonsumtion [kWh/år]
5	365	6	10950

## 5 Simuleringsmodeller

För att beräkna el- och fjärrvärmeförbrukningen för de föreslagna åtgärderna för Akvariehallens ventilationsaggregat (se kapitel 4.1) har två datasimuleringsmodeller skapats i Matlab Simulink.

### 5.1 Simuleringsdata

För att beskriva klimatet används SMHI:s klimatdata för Nordkoster år 2009 (SMHI, 2010). SMHI har mätvärden för var tredje timme. Här har de interpolerats så att ett värde fås för varje timme, det vill säga ett värde för årets alla 8760 timmar. Tabell 12 visar hur mätvärdena sparas i Matlabs "Workspace": i första kolumnen sparas tiden som är i svensk normaltid, i andra kolumnen sparas lufttemperaturen, i tredje kolumnen sparas daggpunkten och i fjärde kolumnen sparas luftens entalpi som beräknas från SMHI:s klimatdata.

Tabell 12. Klimatdata som sparas i matrisen "klimat" i Matlabs "Workspace"

Tid [h]	Temperatur [°C]	Daggpunkt [°C]	Entalpi [kJ/kg]
0	-3,7	-5,3	2,72
1	-3,7	-5,3	2,72
2	-3,2	-4,8	3,49
...	...	...	...
8759	-7,1	-8,2	-1,96

I modellerna simuleras ett luftflöde som varierar efter behov. I verkligheten bestäms luftflödet av behovet för att hålla nere CO<sub>2</sub>-halten på acceptabel nivå och för att hålla luftens fukthalt på en nivå som undviker kondens på akvarieytorna. Densiteten på luften antas ha det genomsnittliga värdet 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

För att simulera behovet av luftflöde på grund av CO<sub>2</sub>-halten beräknas luftflödet med ekvation (15). Se kapitel 3.6 för närmare beskrivning av hur beräkningen för besökare per timme går till. Ett värde för varje timme som anläggningen är öppen beräknas och

sparas i matrisen ”vent” andra kolumn (se Tabell 14) i Matlabs ”Workspace” för övriga tider sparar värdet 0.

$$\dot{m}_l = C_{andel} * B * \dot{V}_{per} * p_l = [kg/s] \quad (15)$$

$C_{andel} = 62[\%] = \text{Akvariehallens ytandel av de publika delarna}$

$B = [\text{besökare}/h] = \text{antal besökare per timme}$

$\dot{V}_{per} = 9,5[l/s \cdot \text{besökare}] = \text{rekommenderad mängd färs luft per besökare}$

$p_l = 1,2[kg/m^3] = \text{luftens densitet}$

För att simulera luftflödesbehovet för att hålla nere fukthalten beräknas fuktalstringen från besökare så som beskrivs i kapitel 3.4. Till detta värde adderas även avdunstningen från akvarierna, då detta värde varierar mycket beroende på förhållandena och dessutom är rätt litet jämfört med fuktalstringen från besökarna antas här konstanta värden så som anges i Tabell 13. Börvärdet för den absoluta fukthalten i frånluften varierar enligt Tabell 13. Luftens massaflöde beräknas sedan med ekvation (16) och detta värde sparar i kolumn 3 i matrisen ”vent” i Matlabs ”Workspace”. I kolumn 4 sparar tariffen för den rörliga elkostnaden, detta då elkostnaden varierar så som beskrivs i kapitel 2.1.

$$\dot{m}_l = \frac{\dot{m}_v}{x - x_{@6C}} [kg/s] \quad (16)$$

$\dot{m}_v = [kg/s] = \text{totala fuktalstringen i Akvariehallen}$

$x = [kg/kg] = \text{tillåten absolut fukthalt i frånluften för att undvika kondens}$

$x_{@6C} = 0,00567[kg/kg] = \text{absoluta fukthalten som avfuktningen sker till}$

Tabell 13. Fuktalstringen från akvarierna och frånluftens absoluta fukthalt

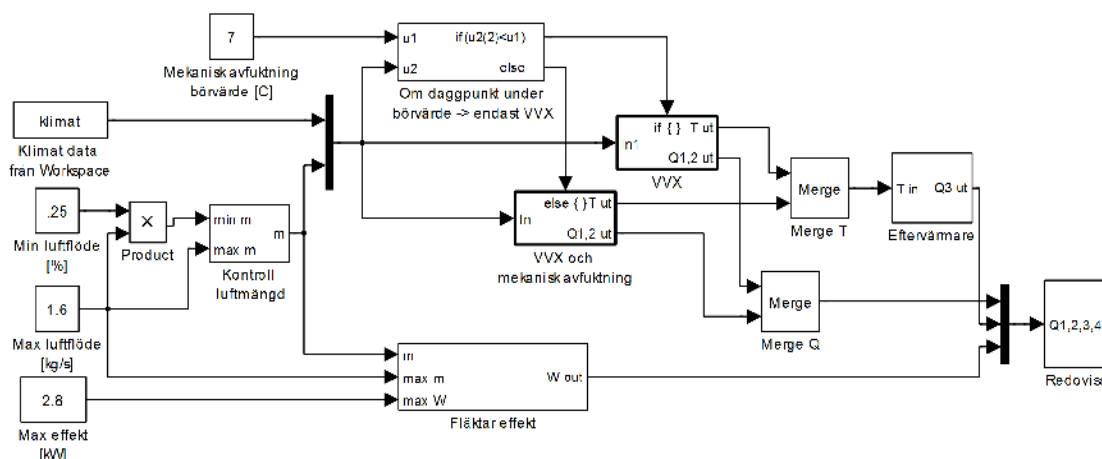
	Period 1 1 jan till 31 maj	Period 2 1 jun till 10 jul 15 nov till 31 dec	Period 3 11 juli till 10 aug 1 okt till 14 nov	Period 4 11 aug till 30 sep
Avdunstning $\dot{m}_v$ [kg/h]	0,75	1	1,5	2
Absolut fukthalt $x$ [kg/kg]	0,00711	0,00760	0,00813	0,00869

Tabell 14. Luftflöde och tariffdata som sparas i matrisen "vent" i "Workspace"

Tid [h]	Luftflöde p.g.a. CO <sub>2</sub> [kg/s]	Luftflöde p.g.a. fukt [kg/s]	Tariff för el [kr/h]
0	0,000	0,000	1,0938
1	0,000	0,000	1,0938
...	...	...	...
1042	0,11	0,34	1,4500
...	...	...	...
8759	0,000	0,000	1,0938

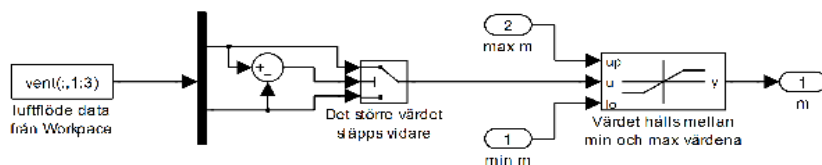
## 5.2 Modell 1: variabelt luftflöde

Hur ventilationsaggregatet är konfigurerat beskrivs närmare i kapitel 4.1.2. Figur 18 visar hur modellen är uppbyggd i Matlab Simulink. Här bestäms värdena för max luftflöde i kg/s samt minimum i % av maxflödet. Även fläktmotorernas maxeffekt i kW bestäms här.



Figur 18. Modell 1, "rot vy": visar hur modellen är uppbyggd i Simulink.

Figur 19 visar hur luftflödet bestäms. Det större massflödesvärdet från matrisen "vent" (se Tabell 14) väljs och sedan kontrolleras att värdet hålls inom maximi- och minimivärdena.



Figur 19. Block "kontroll luftmängd": Väljer det större värdet från matrisen "vent".

Om daggpunkten i intagsluften är under börvärdet, på t.ex. 7°C, sker värmeväxling mellan intagsluften och frånluften. Ingen mekanisk avfuktning sker. Ekvationerna (17) och (18) beskriver VVX:n matematiskt (ASHRAE, 2008, k. 25). Figur 20 visar hur VVX:n är konstruerad i Simulink. Intagsluftens temperatur efter VVX:n ( $T_2$ ) och VVX:n energibesparing beräknas och förs vidare till utport. Kylmaskinen energibehov sätts till 0.

$$\dot{Q}_s = \varepsilon_s \dot{m} c_p (T_3 - T_1) \quad (17)$$

$$T_2 = T_1 + \frac{\dot{Q}_s}{\dot{m} c_p} = T_1 + \varepsilon_s (T_3 - T_1) \quad (18)$$

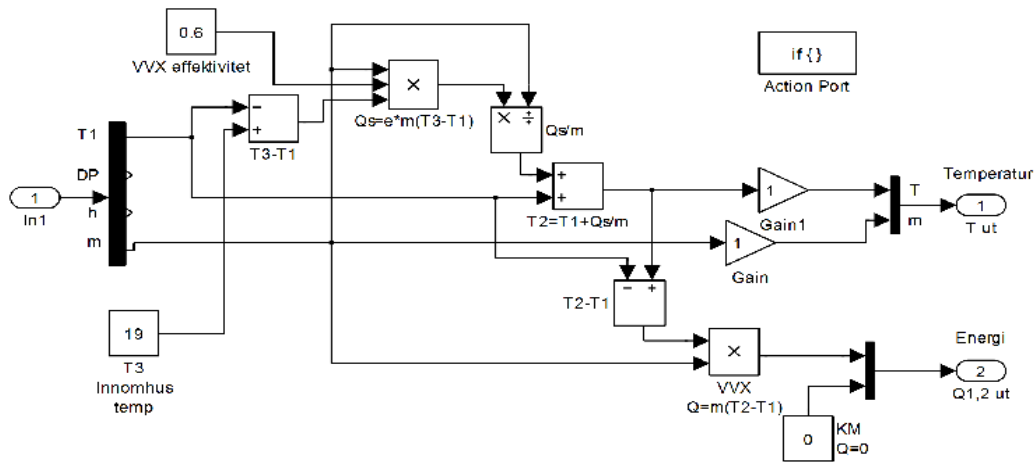
$\dot{Q}_s = [kW] = \text{max sensibel energi överföring}$

$\varepsilon_s = \text{VVX:ns sensibla effektivitet}$

$\dot{m} = [kg/s] = \text{luftens massflöde, densiteten antas vara konstant } 1,2 \text{ kg/m}^3$

$c_p = 1,0 [kJ/kg \cdot K] = \text{luftens specifika värmekapacitet, antas vara konstant}$

$T_1, T_2, T_3, T_4 = \text{in- \& utlopp temperaturer på respektive intags- \& frånluft}$

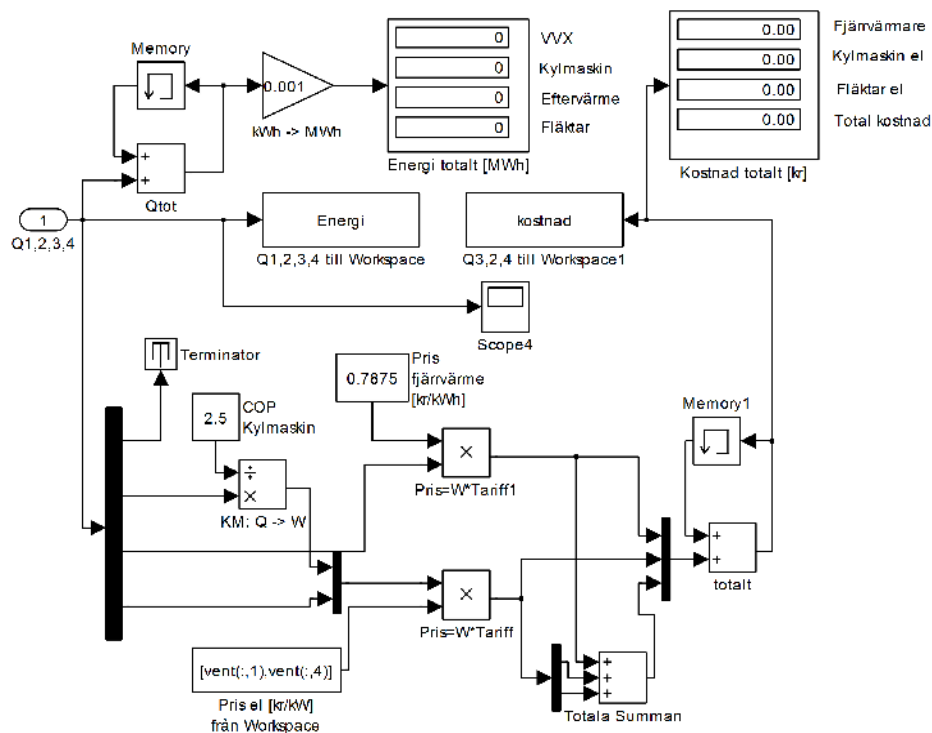


Figur 20. Block "VVX": Värmeväxling mellan intags- ( $T_1$ - $T_2$ ) och frånluften ( $T_3$ - $T_4$ ) simuleras.

Om daggpunkten i intagsluften överstiger börvärdet, på t.ex. 7°C, sker mekanisk avfuktning. Överstiger intagsluftens temperatur börvärdet 19°C sker värmeväxling mellan intagsluften och frånluften. Temperatur och entalpi ( $T_3$  &  $h_3$  i Figur 21) efter nedkylningen sätts till konstanta värden. Kylmaskinens energibehov och VVX:ns energibesparing beräknas och förs vidare till utport.

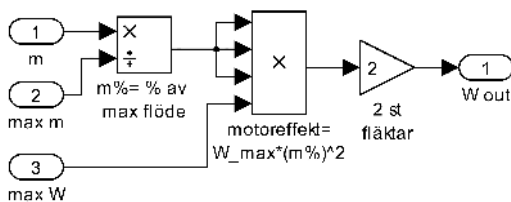






Figur 23. Block "redovisa": redovisar den årliga energiförbrukningen och energikostnaderna.

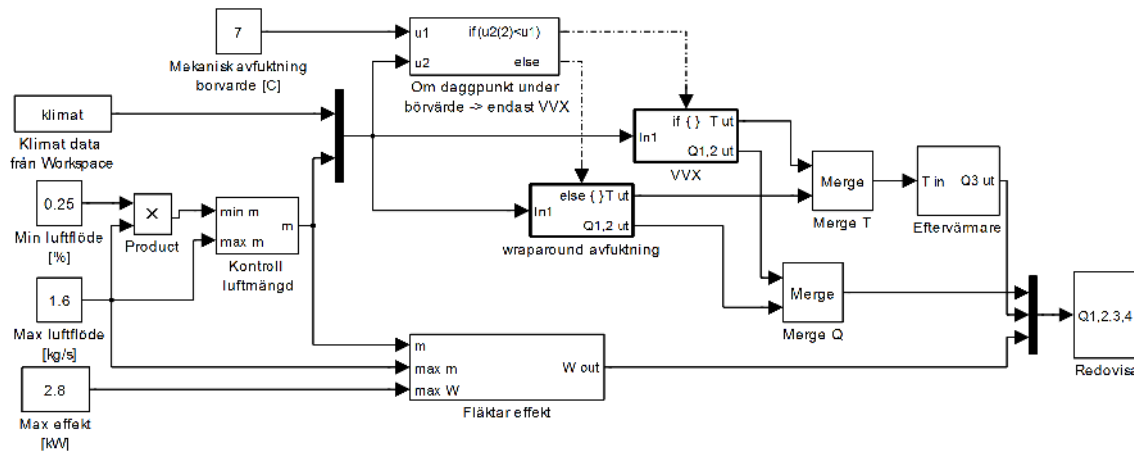
För att variera luftflödet används fläktmotorer vars effekt styrs med frekvensomriktare. Effekten som krävs för att öka luftflödet är kubisk, det vill säga minskar man luftflödet från 100% till 50% så kräver fläktmotorn endast 12,5 % i effekt av fulleffekt (ASHRAE, 2008, k 44.9). Figur 24 visar hur fläktmotorernas elförbrukning simuleras i Simulink. Härtill kommer förluster då en fläktmotor förlorar i verkningsgrad vid lägre effekter än vid sin nominella effekt, men detta beaktas inte i simuleringen.



Figur 24. Block "fläktar effekt": simulerar fläktarnas elförbrukning för ett visst luftflöde.

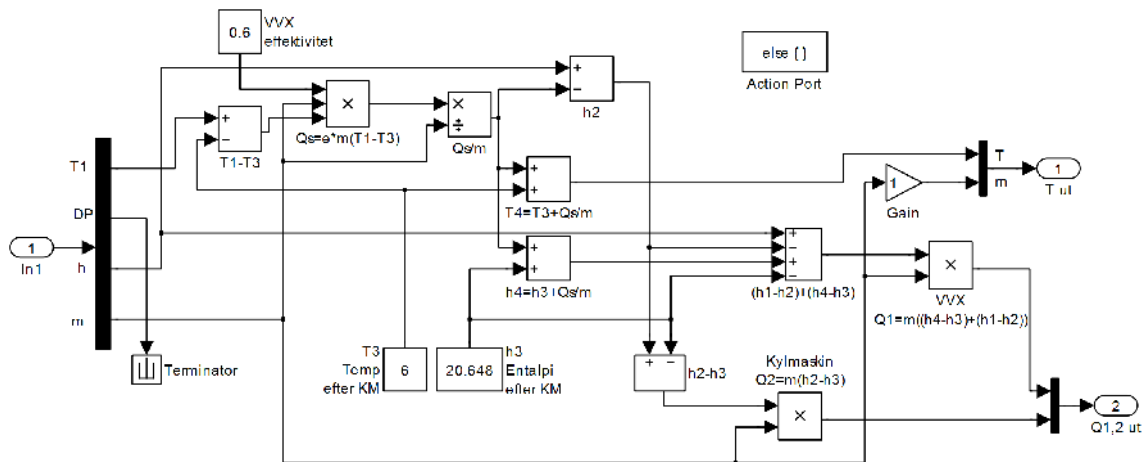
### 5.3 Modell 2: "wraparound"

Hur ventilationsaggregatet är uppbyggt beskrivs närmare i kapitel 4.1.3. Figur 25 visar hur modellen är konstruerad i Simulink, modellen är i övrigt likadan som modell 1 förutom "wraparound avfuktnings"-blocket som redovisas i Figur 26.



Figur 25. Modell 2: "rot vy": konstruerad likadant som modell 1 förutom blocket "wraparound avfuktning".

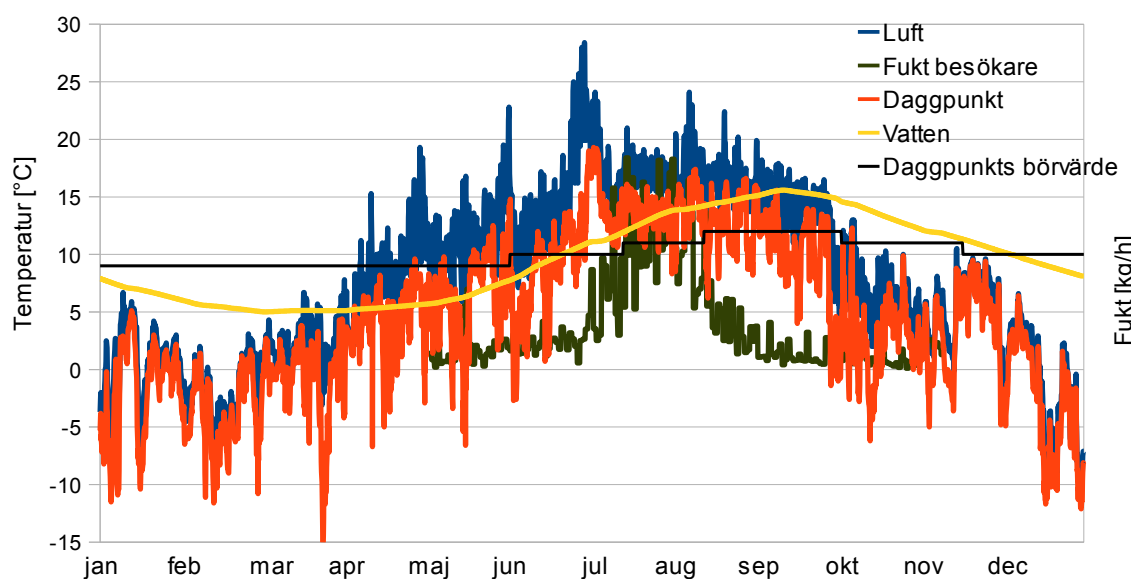
I detta block (Figur 26) sker värmeväxling mellan intagsluften ( $T_1$ - $T_2$ ) och den nedkylda luften ( $T_3$ - $T_4$ ) efter kylmaskinen. Temperaturen ( $T_4$ ) efter kylmaskinen och VVX:ns beräknas och förs vidare till utport. Kylmaskinens energibehov ( $Q_2$ ) och VVX:ns energibesparing ( $Q_1$ ) beräknas och förs vidare till utport.



Figur 26. Block "wraparound avfuktning".

## 6 Resultat

Det är framförallt tre faktorer som påverkar driftsförhållandena: Utomhusluftens temperatur och relativa fukthalt, havsvattentemperaturen och besökarantalet. Figur 27 visar hur dessa tre faktorer varierar över året. I figuren är luftens temperatur och daggpunkt baserade på statistik för 2009, havsvattentemperaturen är ett medeltal för år 2000-2010 vid 30 meters djup och fukt från besökare är en beräkning baserad på besöksstatistik för 2010. Figuren visar även ett förslag på ett års schema för daggpunkts börvärde.



Figur 27. Driftsförhållanden: havsvatten- och lufttemperatur samt daggpunkt och daggpunkts börvärde.

I Tabell 15 redovisas resultatet från simuleringar för tre alternativa ventilationsaggregat till Akvariehallen. Den allra största energibesparingen görs med att övergå från det nuvarande återlufts-systemet till ett variabelt luftflödes-system. Enligt resultatet från simuleringen skulle de rörliga energikostnaderna mer än halveras. Alternativ 2, ”Wraparound”-systemet, skulle ytterligare sänka de rörliga energikostnaderna med ungefär en fjärdedel. Maximala kyleffekten är lägre i detta alternativ vilket betyder att

en mindre och därmed billigare kylmaskin kan användas, även den årliga effektagiften skulle sjunka med ca 1400 kr.

*Tabell 15. Tre alternativa ventilationsaggregat till Akvariehallen*

	Alternativ 0 ”grundalternativ”	Alternativ 1 ”variabelt luftflöde”	Alternativ 2 ”wraparound”
Max effekt	54	54	41
kyla [kW]			
El [MWh/år]	63	12	8,7
Fjärrvärme [MWh/år]	33	33	24
Kostnad [tusen kr/år]	98	39	28

De statiska fläktmotorerna i ventilationssystemen kräver mycket energi i form av el. Med att stänga av ventilationsaggregat ”LA2-kontor” under 5 timmar varje natt minskar man elkonsumtionen med ca 11000 kWh/år. Med att förnya de akvariumglas som har lägst isoleringsförmåga sparar man ca 4300 kr/år i direkta energikostnader (se kapitel 4.2). Att använda sig av ett rörligt elpris istället för fast elpris är lönsammare, detta då anläggningens största elförbrukning sker under sommaren när elen tenderar att vara billigare (se Figur 1 och Tabell 2).

## 7 Diskussion

Modellerna för datorsimulering som används i detta examensarbete är förenklade och resultaten från dem motsvarar inte verkligheten exakt. Däremot är modellerna tillförlitliga då man jämför olika alternativ, då dessa körs med samma indata kan den procentuella skillnaden i resultatet anses motsvara verkligheten rätt bra.

Driftsförhållandena för ett publikt havsvattensakvarium är speciella pga de kalla akvariumglasytorna och det varierande besökarantalet. Det finns egentligen inga andra direkt motsvarande anläggningar. I Sverige är det överhuvudtaget mycket ovanligt att behöva avfukta ventilationsluften, utan detta sker främst i länder med fuktigare klimat.

De största besparingarna i energikostnaderna görs med att byta ut eller stänga av fläktmotorerna nattetid. Simuleringarna av ventilationsaggregat till Akvariehallen visar att under ca 95% av tiden understiger luftflödesbehovet med 30% av dess fulla kapacitet. Det är endast under dagtid några sommarmånader när besökarantalet är stort som fläktmotorerna behöver gå på full kapacitet. Detta gör att det nuvarande regelsystemet med återluft är mycket mera energislukande än att kontrollera luftflödet genom att reglera fläktmotorernas effekt med t.ex. frekvensomriktare.

Det finns åtgärder som inte har tagits upp i detta examensarbete som kunde granskas närmare. Så som anläggningens kylmaskiner nu är byggda kyla överloppsenergi i luftkylda kondensorer. Denna värmeenergi eller åtminstone en del av den kunde återanvändas i anläggningen för varmvattenbruk och för eftervärmarna i ventilationsaggregaten. Att kyla kondensorer med havsvatten, som det finns gott om på Havets Hus, är en annan metod för att få ett högre COP-värde på kylanläggningarna.

Universeum i Göteborg har ett "Västerhavsakvarium" med den skillnaden att akvarievattnet recirkuleras (Universeum, 2010). Vattnet hålls på 12-15°C beroende på årstid. Vilken temperatur som vattnet i Havets Hus bör kylas till bör undersökas närmare. Kunde man hålla en högre temperatur skulle man göra stora energibesparingar.

Ur ett miljöperspektiv är det mera motiverat att spara på el än på fjärrvärmeförbrukning. Detta gäller i allmänhet i de flesta städer i Sverige, men är särskilt tydligt i Lysekil där fjärrvärmens ursprung i spillvärme från Preems oljeraffinaderi (Lysekil, 2008). Under sommaren, när fjärrvärmenätet går på lågvarv, ger minskad förbrukning av värmeenergi inte motsvarande reduktion i utsläpp.

## 8 Slutsats

Följande slutsatser kan dras från examensarbetet:

- Den största besparingspotentialen finns i att byta ut de statiska fläktmotorerna mot nya fläktmotorer med möjlighet till variabelt luftflöde.
- Smartare upplägg för avfuktningen av luften i akvariehallarna ger en märkbar minskning i energiförbrukning. Även toppeffektbehovet för el minskar.
- Byte av akvarieglas ger en viss besparing men är knappast ekonomiskt försvarbart när kostnader för material och installation tas med i beräkningen.
- Bättre daggpunktsbörvärden och att stänga av fläktar på natten är åtgärder med energibesparingspotential som är lätta och billiga att genomföra.
- Möjligheten att använda spillvärme från kylmaskinernas kondensorer och till vilken temperatur som akvarievattnet i Havets Hus bör kylas till är något som bör utredas närmare.

# Litteraturlista

- Abel, E. och Elmroth, A. (2006). *Byggnaden som System*. Forskningsrådet Formas.
- ASHRAE (2008). *Handbook HVAC Systems and Equipment (SI ed)*. ASHRAE.
- Cengel, Y. A. (2002). *Heat and mass transfer : a practical approach, 2nd edition*. McGraw-Hill Companies.
- Enyckeln (elektroniskt). Tillgängligt på: <<http://www.enyckeln.se/templ/Graph.aspx?id=628>> (2010-11-29).
- Havets Hus (elektroniskt). Tillgängligt på: <<http://www.havetshus.se/>>/ Vad är Havets Hus? (2010a-11-01).
- Havets Hus (elektroniskt). Tillgängligt på: <<http://www.havetshus.se/>>/ Öppettider & entrépriser (2010b-11-01).
- Havets Hus (2010c). *Besöksstatistik 1993-2010*. Havets Hus, Lysekil.
- Hung, B. och Luketa, M. (2010). *Energikartläggning av Havets Hus i Lysekil*. Chalmers tekniska högskola (examensarbete inom byggingenjörers programmet), Göteborg.
- Installationsteknik (2008). *Kompendium i installationsteknik -Introduktion, samordning med byggnaden, värme, ventilation*. KTH Arkitektur och samhällsbyggnad, Stockholm.
- Johansson, L. och Westerlund, L. (2001). *Energy savings in indoor swimming-pools: comparison between different heat-recovery systems*. Applied Energy 70: 281–303.
- Kraft&Kultur (elektroniskt). Tillgänglig på: <<http://www.kraftkultur.com/>> (2010-12-30).
- Leva i Lysekil AB (elektroniskt). Tillgänglig på:  
<<http://www.levailyskil.se/kundtjanst/priseravgifter/fjarrvarme.167.html>> (2010a-12-30).
- Leva i Lysekil AB (elektroniskt). Tillgänglig på:  
<<http://www.levailyskil.se/kundtjanst/priseravgifter/elnat/lagspanningeffekt2011.292.html>> (2010b-12-30).
- Lysekil (2008). *ENERGIPLAN*. Lysekil kommun, Lysekil.
- Nygren, J. (2009). *Redovisning - Energideklaration*. Riksbyggen, Uddevalla.
- t.a.c. (2006). *Driftinstruktioner*. Kopierade vid besök (2010-10-25).
- Trechsel, H. R. (1994). *Moisture Control in Buildings: (MNL 18)*. ASTM International.
- Relationshandlingar (2000). Jarlöv Arkitekt Kontor.
- SMHI (elektroniskt). Tillgängligt på: <<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/dataserier-2.1102>> (2010-12-30).
- SMHI/SHARK (elektroniskt). Tillgängligt på: <[http://produkter.smhi.se/pshark/datamap\\_bohuskusten.php?language=s](http://produkter.smhi.se/pshark/datamap_bohuskusten.php?language=s)> (2010-11-01).
- Universeum. (2010). *Avdelningsbeskrivning: Akvariehallen – En hel värld under ytan*. Tillgänglig på:  
<[http://www.universeum.se/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=190](http://www.universeum.se/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=190)> (2010-12-01).
- Zhang, L. Z. (2006). *Energy performance of independent air dehumid systems with energy recovery measures*. Energy 31: 1228–1242.







---

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.et.slu.se](http://www.et.slu.se)

---

SLU  
Department of Energy and Technology  
Box 7032  
S-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000

---